

PRODISYS

Engineering
Produktionsbasierter
Dienstleistungssysteme

Editoren

Dr. Markus Duchon
Prof. Dr. Jörg Franke
Prof. Dr. Claudia Lehmann
Prof. Dr. Kathrin M. Möslein

Autoren

Michael Bernard
Dr. Markus Duchon
Felix Eitner
Jonathan Fuchs
Alexander Gösde
Orthodoxos Kipouridis
Tim Mosig

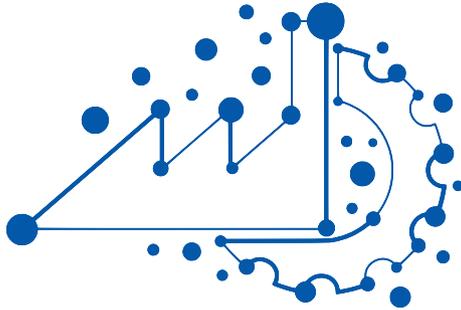
Dr. Colette Neubert
Sascha Julian Oks
Dr. Kasim Rehman
Dr. Andreas Reidt
Jörg Stelzner
Steffen Weiss

Herausgeber

fortiss GmbH
ISBN: 978-3-9818237-4-5

Layout

Anna S. Rodewald



PRODISYS

Engineering
Produktionsbasierter
Dienstleistungssysteme



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

BETREUT VOM



PTKA
Projektträger Karlsruhe
Karlsruher Institut für Technologie



2535
878



GMB

MODEL:428

7239
572

...ical idea, but no more radical an idea than that one day each of us would have a personal computer. Remember the skeptics who once doubted that anyone would ever purchase a personal computer.

The Artificial Intelligence (AI) market is predicted to grow in 2016 to 2021, attaining Compound Annual Growth Rate (CAGR)

barriers manufacturers face in evaluating and adopting technologies, and explores how global manufacturing companies can best capitalize on emerging technologies. The study defines exponential technologies as those that enable change at a rapidly accelerating, nonlinear pace facilitated by substantial progress and cost reduction in the areas of computing power, bandwidth, and data storage.

All of this, of course, flies in the face of conventional

What's interesting is that the opposite of the Fast Forward is a slow motion. Intel company is leading the way in this. Intel's robots are intelligent, aware, flexible, and are capable of doing tasks that we thought only humans could do. As the economy of the future is being built, it will never be as easy to get it all out of those who are not ready to move into the future. It is a potential 3D manufacturing revolution. Intel's robots are increasing productivity in factories around the world.

The robotics future could look a lot like we've ever thought. It's not just about the robots, it's about the people who are working with them. It's about the people who are working with them. It's about the people who are working with them. It's about the people who are working with them.

in just the past week:

the robot stand-up competition in South Korea and then job: six workers. All of which is a sign to

AI is being used today to enable collaborative robotics, assist in manufacturing, on predictive analytics, improving recruitment and retention, and in the development of autonomous vehicles. AI is also being used in the development of autonomous vehicles. AI is also being used in the development of autonomous vehicles. AI is also being used in the development of autonomous vehicles.

Much as the computing industry moved from a mainframe to a PC to a mobile stage, with some huge marketing leger improvements in computing power, there is a similar trend in the development of autonomous vehicles. Much as the computing industry moved from a mainframe to a PC to a mobile stage, with some huge marketing leger improvements in computing power, there is a similar trend in the development of autonomous vehicles.

Gliederung

EINFÜHRUNG

Engineering Produktionsbezogener Dienstleistungssysteme – PRODISYS	6
Digitalisierte Wertschöpfung	12
Plattformökosysteme	16
Die Zukunft digitaler Produktionssysteme	20

HERAUSFORDERUNGEN UND POTENZIALE

Produktivitätspotenziale identifizieren	26
Herausforderungen kennen und überwinden	28

KONZEPTION UND UMSETZUNG

Die Entwicklung geeigneter Softwarearchitekturen	32
Digitalisierung in der produzierenden Industrie	38
Technischer Hintergrund	40

WEITERE BEISPIELE AUS DER PRAXIS

Condition Monitoring und Predictive Maintenance	82
---	----

ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN

Geschäftsmodelle im Wandel - Ein Szenario für die vitesco technologies GmbH	84
Strukturen konzipieren	88
Infrastruktur schaffen	89
Fertigung vernetzen	90

PROJEKTBEZOGENE VERÖFFENTLICHUNGEN	91
--	----

DANKSAGUNG	94
------------------	----

IMPRESSUM	95
-----------------	----

Engineering Produktionsbezogener Dienstleistungssysteme – PRODISYS

Ausgangssituation

Unternehmen entwickeln im Kontext von Industrie 4.0 für die Wertschöpfung neuartige, digitale Produkte und anwendungsspezifische Dienstleistungen, die beispielsweise die Fehlervorhersage oder Prognosen im Zusammenhang mit Instandhaltungstätigkeiten von Anlagen ermöglichen oder automatisiert Arbeitspläne für Menschen und Maschinen optimieren. Diese Dienstleistungen waren bisher zumeist für isolierten Anwendungsfälle vorgesehen und erlaubten selten eine integrative Nutzung über diesen speziellen Einsatzzweck hinaus. Beispielsweise waren die Berechnung der Auswirkungen von Fehlerprognosen und Fehlermeldungen selten mit den Diensten oder Anwendungen zur Erstel-

lung von Arbeits- und Lieferplänen verbunden, sodass eine Verzögerung von wichtigen Lieferterminen eventuell verspätet erkannt wurde und Maßnahmen zur Verhinderung nicht rechtzeitig eingeleitet werden konnten. Eine Zusammenführung der Informationen war mit hohem individuellen Entwicklungsaufwand zu erreichen, da bei der Konzeption der proprietären Einzeldienste eine Kombination nicht angedacht war. Sind die Dienste durch generische und standardisierte Beschreibungen leicht miteinander kombinierbar, bringen sie aufgrund entstehender Synergien einen Mehrwert in Form feingranularer Informationen, besserer Resultate und umfassenderer Dienstleistungspakete.

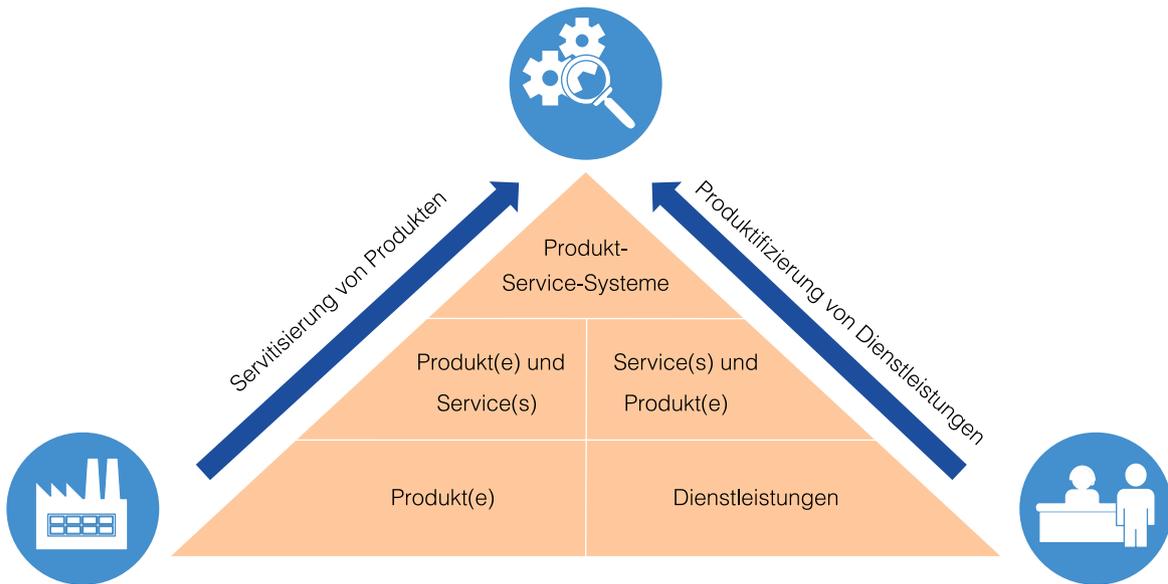
Projektziele

Vor diesem Hintergrund wurde in dem Verbundprojekt PRODISYS eine industrielle Cloud-Plattform entwickelt, die prototypisch die einfache Integration und Kombination von neuen, aber auch bereits existierenden digitalen Diensten und Anlagen ermöglicht. Hierfür wurden geeignete Methoden und Werkzeuge konzipiert, die eine generische, aber eindeutige Beschreibung von Maschinen und Diensten erlauben. Zusammen mit den eingebundenen Entitäten und den jeweiligen Akteuren, die auf dieser Plattform anhand einheitlicher Standards und Schnittstellen Informationen und weitere Artefakte austauschen, wurde ein sogenanntes Plattformökosystem gebildet. Diese Lösung ermöglicht zum einen die systematische Entwicklung

und Anpassung von Einzeldiensten sowie deren unkomplizierte Kombination zu Service Bundles, die über die Plattform angeboten bzw. genutzt werden können. Zum anderen wurden Integrationskonzepte zur einfachen Überwachung von Maschinen-, Betriebs- und Prozesszuständen auf Basis von Sensor- und Aktordaten umgesetzt. Die daraus resultierenden fachlichen Konzepte, Dienst- und Plattformarchitekturen bilden zusammen mit nachhaltigen, digitalen Geschäftsmodellen die Grundlage für die Etablierung offener Plattformökosysteme und verbundener Dienste für die industrielle Produktion. Durch diese Lösung und den damit verbundenen, durchgängigen Informationsfluss wird die Informationsgüte zur Entscheidungsunterstützung und

das Wissensmanagement verbessert, was z. B. Anhand eines Anwendungsfalls aus der Instandhaltung gezeigt wurde. Darüber hinaus ermöglichen die im Verbundprojekt entwickelten Konzepte, wie Geschäftsmodelle und

Referenzarchitekturen, für Plattformbetreiber, Dienstanbieter und -anwender eine schnellere Umsetzungs- und Integrationsgeschwindigkeit bei gleichzeitiger Standardisierung. Diese Hilfsmittel ermöglichen weiteren Akteuren,



Produkt-Service-Systeme im Wandel (In Anlehnung an: Digitale Transformation - Wie Informations- und Kommunikationstechnologie etablierte Branchen grundlegend verändern)

z. B. Sondermaschinenbauern oder Entwicklern von Datenanalysewerkzeugen, die Anbindung ihrer Produkte an die Plattform und damit die Partizipation am industriellen Ökosystem. Dabei geht es um die effiziente Verknüpfung von Anlagen und die digitale Abbildung von fertigungsnahen Geschäftsprozesse, wobei die komplexen Serviceketten modularisiert und damit flexibel kombinierbar werden. Entsprechend dem erkennbaren Trend zur „Produktifizierung“ von Dienstleistungen, bei der diese ähnlich wie physische Produkte vertrieben werden können, ermöglicht es die Modularisierung, beispielsweise Wartungsservices in Form einer App anzubieten. Parallel

dazu führt die „Servitisierung“ von Produkten dazu, dass zukünftig Produktionsanlagen ihre Fertigungskapazitäten oder einzelne Verarbeitungsschritte *as a Service* anbieten. Hinzu kommen Möglichkeiten, auf Basis von Anlagendaten und Prozessinformationen, die mithilfe geeigneter Sensorik erfasst werden, digitale Modelle zu generieren. Aufbauend auf der Datengewinnung und -analyse dieser umfangreichen Maschinen- und Nutzungsdaten (Big Data) können neuartige Services in vielfältigen Fachbereichen, z. B. dem Condition Monitoring oder Predictive Maintenance, umgesetzt werden.

Branchenübergreifende, IKT-induzierte Veränderungen

Die digitale Transformation verändert viele Lebensbereiche und Domänen in Industriestaaten. Dies umfasst neben Themenkomplexen wie Stadt- und Wohnraumgestaltung (Smart City und Smart Home), Mobilität (Smart Mobility), Energieerzeugung und -bereitstellung (Smart Grid) oder dem Gesundheitswesen (Smart Health) insbesondere die industrielle Wertschöpfung, deren umfassende Digitalisierung unter dem Leitbegriff Industrie 4.0 diskutiert und entwickelt wird. Dieser Begriff, geprägt durch ein Förderprogramm der deutschen Bundesregierung, impliziert

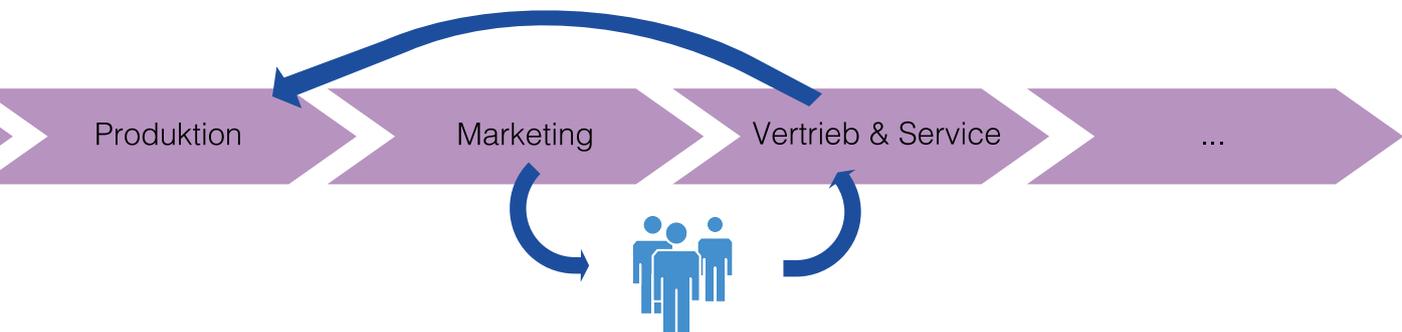
einen signifikanten Innovations- und Produktivitätsschub, der einer vierten industriellen Revolution gerecht wird und sich damit so bahnbrechend wie die Integration des Computers im Rahmen der industriellen Automatisierung auswirkt. Durch den Einsatz neuer Technologien und Konzepte wie cyber-physischen Systemen (CPS), Big Data-Analysen oder künstlicher Intelligenz (KI), die eine Marktreife erlangt haben, sodass sie umfänglich und flächendeckend in der Industrie eingesetzt werden können, wird dieser Schub ermöglicht. Besondere Relevanz kommt dabei der



Bisherige, lineare Wertschöpfung (In Anlehnung an: Digitale Transformation - Wie Informations-

Integration und der Vernetzung der verschiedenen Technologien und Konzepte zu, da sich erst dadurch eine durchgängige, digitalisierte Wertschöpfung etablieren kann. Eine hervorzuhebende Rolle spielen dabei Plattformen und die diese umfassenden Ökosysteme, da diese im Rahmen spezifischer Ziele und Aufgabenstellungen zum einen Technologien und Services orchestrieren und zum anderen relevante Akteure und Stakeholder organisationsübergreifend und nahtlos zusammenbringen können. Die auf diesem Weg entstehenden digitalisierten Wertschöp-

fungsnetzwerke bieten vielschichtige Vorteile. So können Unternehmen ihre Wertschöpfung effizienter gestalten und neue Wertversprechen für ihre Kunden entwickeln. Kunden haben darüber hinaus die Möglichkeit, weitreichend individualisierte Produkte und Services zu nutzen und sich co-kreierend in den Wertschöpfungsprozess einzubringen. Zusätzlich können durch höhere Ressourceneffizienz, kundenindividuelle Produktion, additive Fertigung etc. Wertschöpfungsprozesse nachhaltiger gestaltet werden.



und Kommunikationstechnologie etablierte Branchen grundlegend verändern)

Digitalisierte Wertschöpfung

Das „Leitbild 2030 für Industrie 4.0“¹ skizziert global gestaltete, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke mit einem hohem Automatisierungsgrad hinsichtlich der Serviceinteraktion. Ziel ist die Schaffung eines Ökosystems zur Integration unterschiedlicher digitaler und plattformbasierter Dienste und Angebote.

Die technischen Aspekte der digitalen Wertschöpfung, also die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien zur Wertgenese, sind mindestens so vielfältig wie die Potentiale, die sie bieten. Im Spannungsfeld zwischen Anbieter und Endkunden, dem B2C-Markt, ist hiermit oft die Anreicherung von Produkten mit digitalen, d. h. softwarebasierten Elementen gemeint.

Digitale Wertschöpfung in der produzierenden Industrie

Im Kontext der produzierenden Industrie wird unter digitalisierter Wertschöpfung die Optimierung von Geschäfts- und Herstellungsprozessen durch den Einsatz digitaler Technologien und Konzepte verstanden. Eine Optimierung kann dabei durch Effizienzsteigerungen in Abläufen, Komplexitätsreduktion,

einen höheren Automatisierungs- und Digitalisierungsgrad etc. erreicht werden.

Eine besondere Bedeutung kommt dabei der vertikalen Integration zu. Vor allem zwei technische Befähiger spielen hierbei eine große Rolle:

¹ BMWi (2021). Leitbild 2030 für Industrie 4.0, Digitale Ökosysteme global gestalten: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Industrie40/Leitbild2030/leitbild-2030.html>

→ Die valide digitale Repräsentation von Eigenschaften und (Prozess-) Fähigkeiten von Anlagen und ihren Komponenten inklusive Möglichkeiten zur eindeutigen Identifikation.

→ Das Vorhandensein der technischen Fähigkeiten zur unlimitierten, semantischen Kommunikation zwischen allen an der Wertschöpfung beteiligten Entitäten.

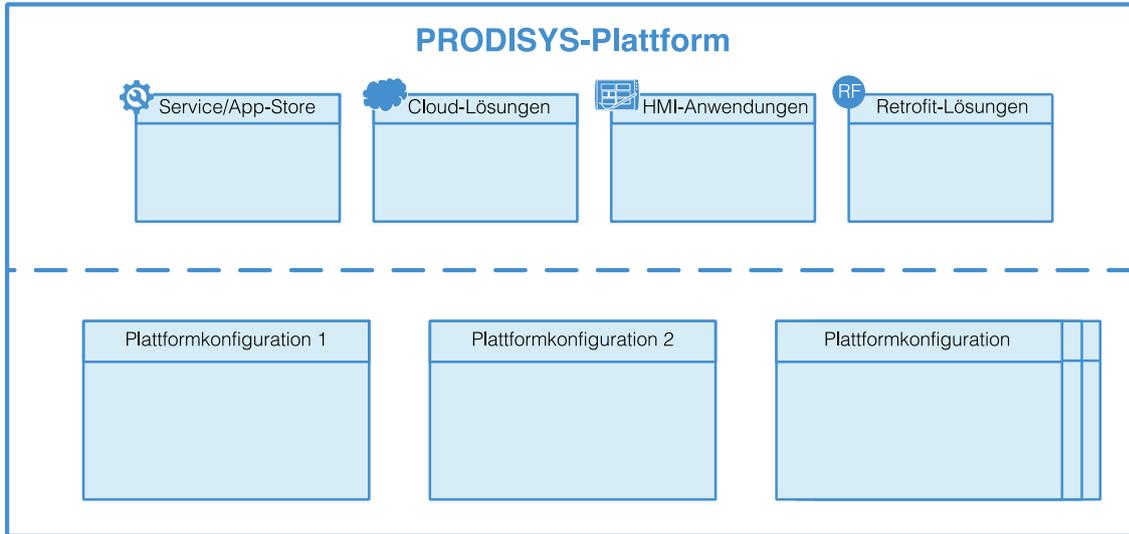
Mit PRODISYS die Wertschöpfung digitalisieren

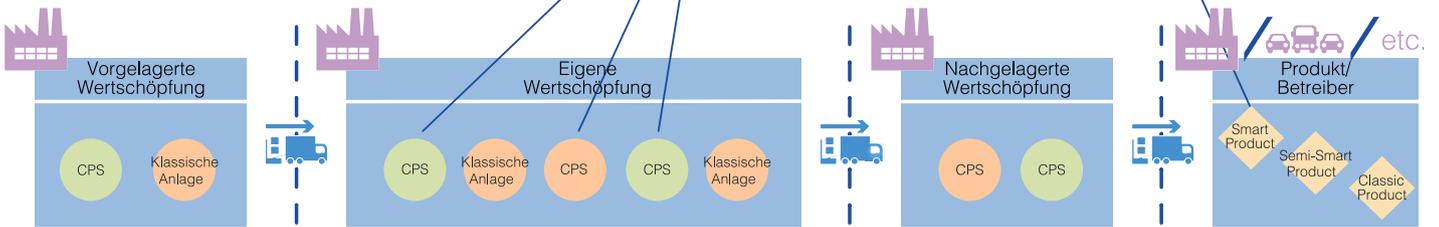
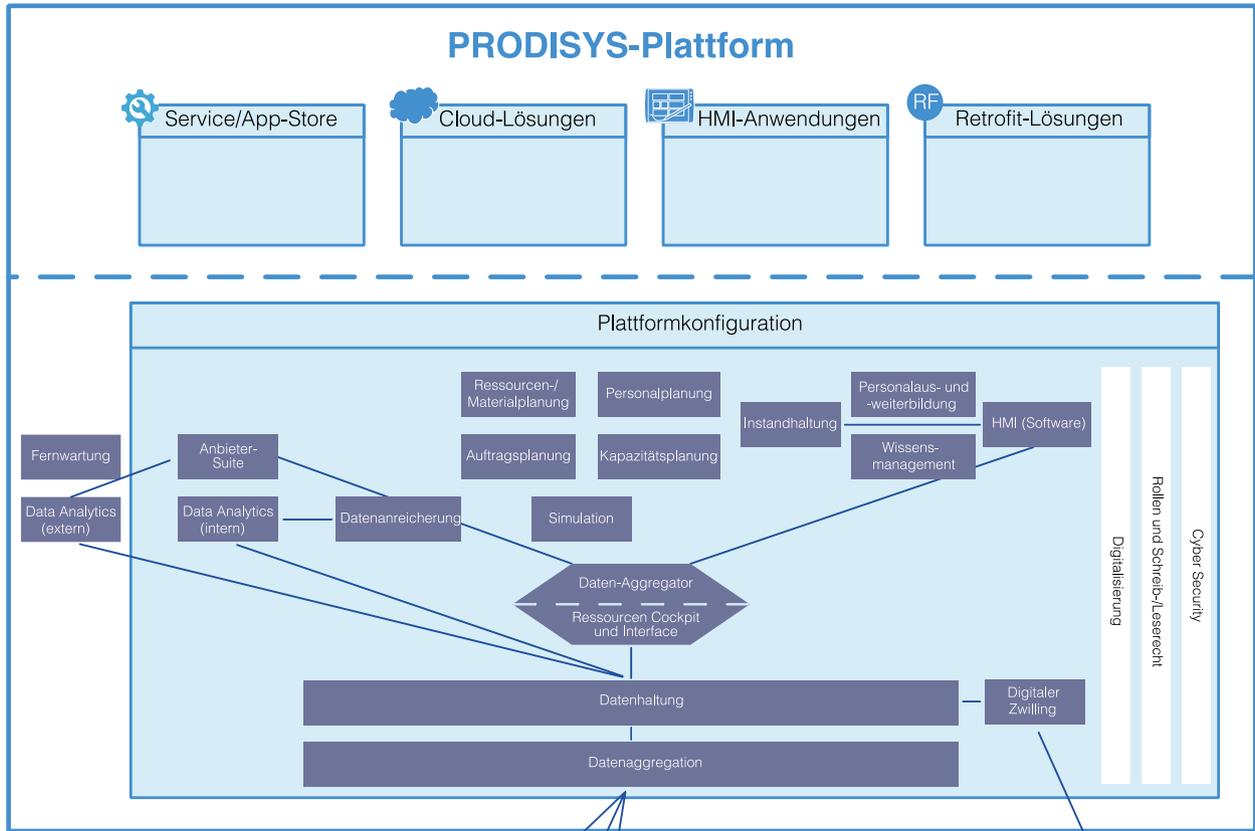
Das Projekt PRODISYS pilotierte das Vorgehen zur Erstellung eines industriellen Plattformökosystems, in dem industrielle Smart Services zur verbesserten Planung und Koordination von Aktivitäten in der Produktion und angeschlossenen Bereichen effizient kombiniert werden. So wurden bisher isolierte Anwendungsfälle miteinander verbunden, wodurch ein durchgängiger Informationsfluss möglich ist, der die ideale Basis zur Entscheidungsunterstützung und weiteren Digitalisierung bildet.

In diesem Kontext wurden Methoden und Werkzeuge entwickelt, die Anlagen und

digitale Services zu komplexen Service Bundles komponieren und den Menschen als Entscheider integrieren. So bietet PRODISYS Möglichkeiten zur Gestaltung des zuvor skizzierten, digitalen Plattformökosystems.

Die prototypische Implementierung der Digitalisierungskonzepte erfolgte gemeinsam mit Unternehmen der Informations-, Automatisierungs- und Produktionstechnik und wurde am Beispiel der Instandhaltung in der Automobilproduktion bzw. Automobilzuliefererindustrie validiert.





Plattformökosysteme

Plattformökosysteme: Ein (neues) Kernelement der Ökonomie

Bei Plattformökosystemen handelt es sich um technologische, aber auch institutionelle Bindeglieder zwischen unterschiedlichen Akteuren. Diese Akteure sind auf Mikro-, Meso- und Makroebene verortet, was bedeutet, dass es sich bei diesen um individuelle Personen, um Organisationen wie Unternehmen sowie Staaten oder Staatenverbände handeln kann. Der Interaktionsgrund wird durch wertschöpfungsrelevante Prozesse und Leistungserbringungen gegeben, die nur in kooperativer Form von unterschiedlichen Akteuren gemeinschaftlich erbracht werden können. Bei den Plattformökosystemen gibt es sowohl intra- als auch interbetriebliche Varianten,

die Business-to-Business (B2B), Business-to-Customer (B2C), Business-to-Government (B2G) etc. Geschäftsbeziehungen ermöglichen. Wertschöpfende Aktivitäten finden dabei gemeinsam, aber unter fortwährender Wahrung der individuellen Eigenständigkeit der einzelnen Akteure statt. Insbesondere für datengetriebene Wertschöpfung und darauf basierende Geschäftsmodelle eignet sich die Etablierung von Plattformökosystemen. Zumeist gibt es einen Ökosysteminitiator, der die Infrastruktur für das Ökosystem bereitstellt und etwaige Standards und Normen festlegt. In der Regel umfasst dies auch die technische Umsetzung einer digitalen Plattform, über die

die wertschöpfenden Prozesse der jeweiligen Akteure orchestriert oder choreographiert werden und die Leistungserbringung für die Kunden bzw. Nutzer kanalisiert wird. Gerade auf mehrseitigen Märkten ist eine weitreichende Etablierung der Plattformökonomie festzustellen, da Plattformökosysteme insbesondere zur ad hoc-Koordination vieler und heterogener Akteure geeignet sind. Darüber hinaus bieten Plattformökosysteme die Basis für neue innovative Geschäftsmodelle und bieten für die Nutzer einen höheren Mehrwert, da deren Bedürfnisse zielgenauer adressiert werden können.



Im Kontext von PRODISYS ist die Bedeutung des Begriffs Plattformökosystem zu schärfen. Im Fokus der Entwicklung steht eine industrielle, technische Plattform, die digitale Angebote aggregiert, mit anderen Plattformen wertschöpfend interagiert und so Teil eines plattformbasierten Ökosystems wird.

Technologischer Hintergrund von Plattform-Ökosysteme

Der aus der Natur entlehnte Begriff Ökosystem beschreibt die Wirkzusammenhänge zwischen heterogenen Organismen und ihrem Lebensraum. Dieser Gedanke lässt sich analog auch auf technische Systeme übertragen.

Im Kontext von PRODISYS ist hiermit in Anlehnung an Schauf et al.² die IKT-basierte Kommunikation und Interaktion vielfältiger Entitäten in abgrenzbaren Wertschöpfungsnetzwerken zu verstehen.

Technische Enabler für plattformbasierte digitale Ökosysteme

Die erfolgreiche Gestaltung plattformbasierter digitaler Ökosysteme hängt wesentlich an folgenden technischen Enablern:

automatisierter Industrieanlagen hin zu cyber-physischen Produktionssystemen (CPPS).

→ *Dedizierte Rechenleistung bis auf Komponentenebene*

Durch die Miniaturisierung und gleichzeitige Leistungssteigerung im Bereich der IKT konnte mit der Entwicklung von CPS³ die Voraussetzung geschaffen werden, um die physische und die virtuelle Welt zu verknüpfen. Ein wesentliches Merkmal von Industrie 4.0 ist die Entwicklung starr

→ *Ubiquitäre Kommunikation*

Alle Entitäten, also Komponenten, Anlagen, Smart Services etc., die Bestandteile einer digitalen Plattform sein sollen, müssen dedizierte Kommunikationsfähigkeiten aufweisen und ihre Daten und Funktionen mit berechtigten Kommunikationspartnern austauschen können.

² Schauf, T. (2012). Das Internet als Netzwerk von Ökosystemen: Weniger Offenheit, mehr Konzentration?. Policy Essay: Stiftung Neue Verantwortung, Berlin, Deutschland.

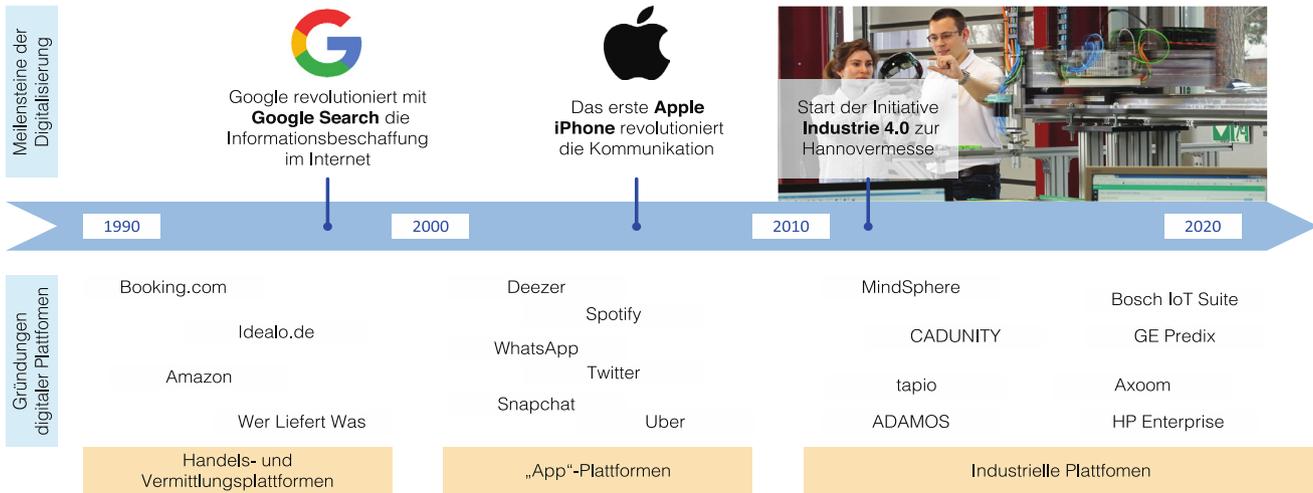
³ Lee, E. A. & Seshia, S. A. (2017). Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach. 2. Aufl.: MIT Press.



Digitale Repräsentation

Die valide digitale Repräsentation von Eigenschaften und Funktionen ist zusammen mit der Kommunikationsfähigkeit unabdingbare Voraussetzung für auto-

matisierte bis hin zu autonomer Interaktion. Nur Informationen, die auch im digitalen Raum repräsentiert werden, können von computerisierten Kommunikationspartnern weiterverarbeitet werden.



Nach: Wortmann, Fraunhofer IEM: Typisierung und Strukturierung digitaler Plattformen im Kontext Business-to-Business

Die Zukunft digitaler Produktionssysteme

Marktplatz für produktionsbezogene Dienstleistungssysteme

Die Fertigungsstätten der produzierenden Industrie sind durch heterogene Automatisierungslandschaften geprägt. Für die aus diesen Anlagen zusammengesetzten Produktionslinien ist in der Regel ein sogenannter Linienführer verantwortlich, der den Produktionsprozess überwacht und steuert. Treten Fehler oder Anomalien auf, muss dieser über Informationen zu sämtlichen Einzelanlagen verfügen, um fundierte Entscheidungen treffen zu können. Dies setzt entsprechende Erfahrung und auch Kenntnis über die Anlagen der unterschiedlichen Hersteller voraus. Aktualisierungen in der Anwendung oder Handhabung von Anlagen haben entsprechende Aufwände und Schulungen zur Folge, damit auch im Fall ungeplanter Stillstandszeiten lange Produktionsausfälle vermieden werden.

Die Idee hinter diesem Projekt folgt dem Trend digitale Plattformsysteme zu etablieren. In diesem Kontext ist auch die Initiative Gaia X zu erwähnen, in der Standards für Cloud-Infrastrukturen unter den Gesichtspunkten der europäischen Datenschutzanforderungen, Transparenz und Kompatibilität⁴ geschaffen werden. Im Rahmen von Produktionsstätten geht es zunächst darum, die Anlagen der verschiedenen Hersteller in den bereits vorhandenen Anlagenpark und in die existierenden oder neuen Produktionsabläufe und IT-Systeme einzupflegen. In Zukunft spielen verstärkt auch die Prozess- und zusätzliche Anlagen-daten eine immer wichtigere Rolle. Diese können beispielsweise für Dienste im Zusammenhang mit der Wartung und Instandhaltung eingesetzt oder zur Analyse und Optimierung von Produktionsprozessen verwendet

⁴ GAIA-X (2020). A Federated Data Infrastructure for Europe: <https://www.data-infrastructure.eu/>

werden. Einer der Schwerpunkte liegt auf der standardisierten Anbindung von Anlagen, um unter anderem den Zugriff auf Daten und Informationen zu ermöglichen. Das auf diese Art verfügbare, teilweise auch mit dem Begriff Digitaler Zwilling benannte Datenmodell stellt gleichzeitig die Basis für die Verknüpfung mit weiteren betrieblichen Prozessen dar. So könnten die Anlagendaten mit einem Dienst zur Zustandsüberwachung einer gesamten Produktionsstraße verknüpft werden. Auf diese Weise könnten Fehler oder Anomalien von einem Dienst, der ein einheitliches Dashboard bereitstellt, angezeigt werden. Dieser wiederum kann mit einem Dienst zur Ticketerstellung verbunden werden, der in der Lage ist, die angegebenen Informationen für vorhandene Ticketsysteme der unterschiedlichen Hersteller zu konvertieren. Gleichzeitig lassen

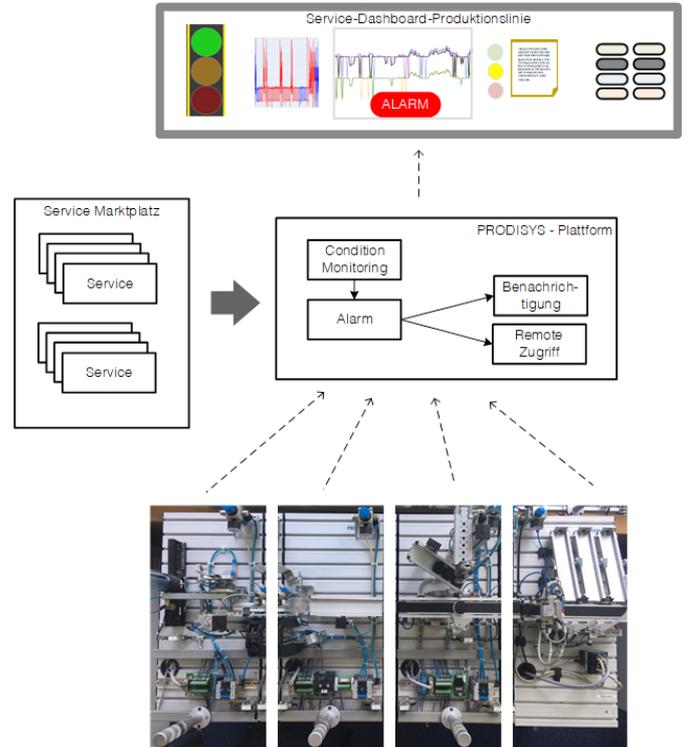
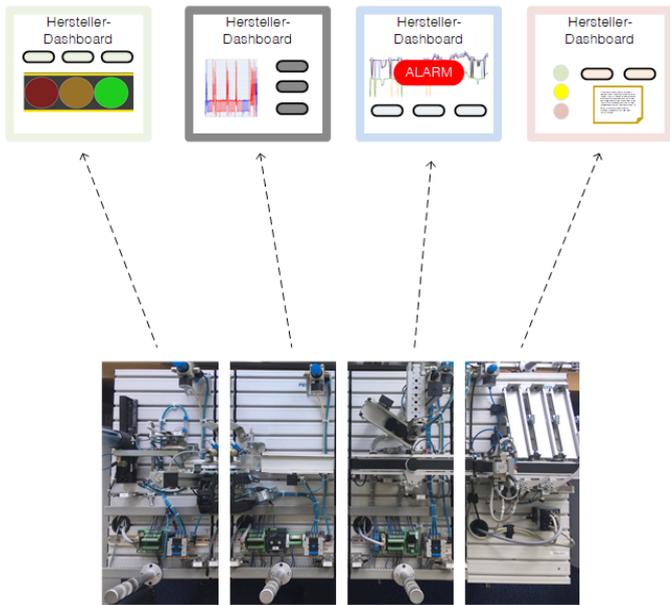
sich auch weitere, interne oder unternehmensübergreifende Prozesse, beispielsweise zur Freigabe eines Servicetickets, für den Versand entsprechender Daten oder für den Remote-Zugriff des Herstellers verknüpfen. Durch eine derartige Komposition von Diensten und die einheitliche Benutzerschnittstelle wird der Arbeitsablauf für das verantwortliche Personal vereinfacht und auch Prozessabläufe können größtenteils automatisiert und folglich beschleunigt werden. Darüber hinaus können die Daten des digitalen Zwillings auch abgegriffen werden, um mit Hilfe maschineller Lernverfahren Prognosen über den Anlagenzustand zu erzeugen und damit eine vorausschauende Wartung zu realisieren. Zukünftig wird es auf Basis digitaler Zwillinge ebenfalls möglich sein, bei bestehenden oder prognostizierten Fehlern in Kombination mit

verfügbaren Auftragsdaten die Produktionsplanung und -steuerung entsprechend der verfügbaren Ressourcen anzupassen, was wiederum als eigenständiger Dienst implementiert werden kann. Die eben skizzierten Dienste werden dabei von unterschiedlichen Anbietern und Herstellern über eine Art Marktplatz angeboten und bereitgestellt. Je nach

Dienstmodell können diese entweder auf der eigenen Infrastruktur oder als so genannte Remote-Services in die eigenen Prozesse eingebunden und konfiguriert werden. Durch die Anbindung der Anlagen und die weitergehende Komposition modularer Dienste lassen sich unterschiedlich komplexe Geschäftsprozesse abbilden und digitalisieren.

Status Quo: Nutzung herstellereispezifischer Services und Dashboards

Vision: Modulare Services können über einen Marktplatz bezogen, genutzt und auf der PRODISYS Plattform zu komplexen Service Bundles komponiert werden. Zudem besteht die Möglichkeit, Dashboards zu erstellen und mit Funktionen und Diensten zu verknüpfen.



Condition Monitoring über die PRODISYS-Plattform

Im Folgenden werden exemplarisch drei mögliche User Stories von Anwendern der PRODISYS-Plattform dargestellt.

Durch ein visuelles und akustisches Signal wird der Maschinenführer der vitesco technologies GmbH während seiner Schicht auf eine Störung an einer Produktionsanlage aufmerksam. Der Mitarbeiter begibt sich nun zur Maschine und öffnet über das Dashboard die Zustandsdatenübersicht, um die Fehlerursache zu ergründen. Kann die mittels Fehlercode angezeigte Störung nicht selbst durch den Maschinenführer behoben werden, besteht die Möglichkeit, direkt an der Maschine ein Serviceticket auszulösen. Dabei ist es möglich, individuell störungsspezifische Daten und zusätzliche Bemerkungen anzugeben. Das Ticket wird dann inklusive Zustandsdatenpaket direkt von der Maschine an den Hersteller der Anlage, in diesem Fall XENON, übermittelt.

Ein Servicemitarbeiter von XENON erhält über die firmeneigene und mit der PRODI-

SYS-Plattform vernetzte Serviceplattform die Mitteilung über den Ticketeingang. Aufgrund der umfangreichen übermittelten Daten zu Maschine, Maschinenhistorie und der vorliegenden Störung können durch den Mitarbeiter zielgerichtet Supportmaßnahmen eingeleitet und koordiniert werden. Die Abrechnung des Aufwands erfolgt automatisiert über die Plattform.

Die Produktionsleitung der vitesco technologies GmbH erhält in Echtzeit die Gesamtübersicht über den Zustand sowie die Verfügbarkeit des Maschinen- und Anlagenparks. Durch die permanente Messung und Analyse der relevanten Maschinendaten werden Entscheidungsprozesse unterstützt und die Effizienz gesteigert. Produktionsunterbrechungen und -stillstände sowie bevorstehende und notwendige Wartungsmaßnahmen kann die Produktionsleitung schnell und übersichtlich über ihren Online-Zugang zur PRODISYS-Plattform einsehen, bewerten, planen und veranlassen.

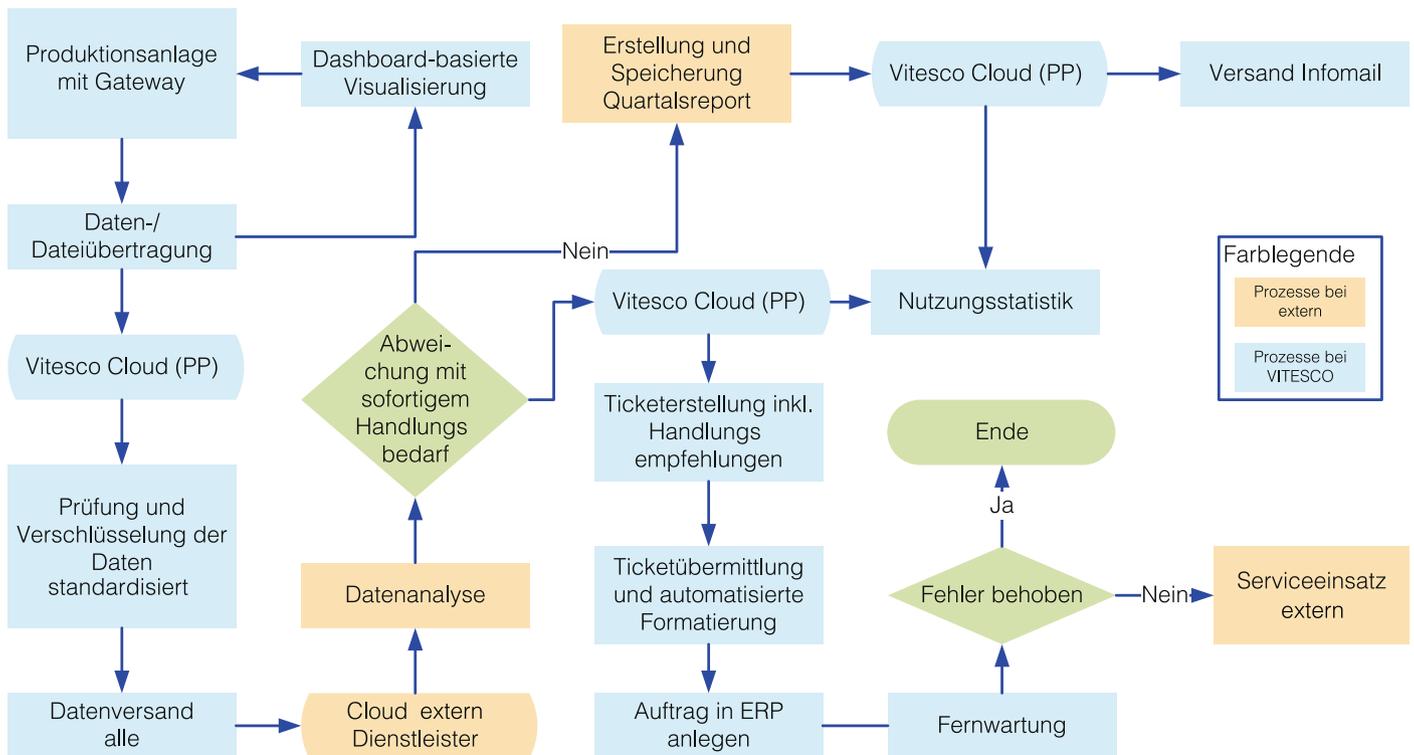


Figure 4 SOLL-Prozess von vitesco technologies für das Condition Monitoring im Plattformökosystem

Produktivitätspotenziale identifizieren

Durch den Einsatz der PRODISYS-Plattform ergeben sich Produktivitätspotenziale entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Eine Dienstleistungskomponente der Plattform ist die permanente Erfassung und Analyse von Anlagen- und Prozessdaten, wodurch sich in den auf den daraus gewonnen Erkenntnissen basierenden Folgeaktivitäten Auswirkungen auf unterschiedlichste Produktivitätsfaktoren und -kennzahlen ergeben. Beispielsweise kann der somit ermöglichte Condition Monitoring Prozess zur Erhöhung der Maschinenverfügbarkeit durch Verringerung von Stillständen und Ausfallzeiten dienen. Folglich können auch Aspekte der Produktivität der Wartung nach Kosten, Zeit und Qualität dadurch positiven Einfluss erfahren. Wartungsintervalle werden nun deutlich effizienter, da Wartungsbedarfe an den Maschinen und Anlagen

gezielter in den Produktionsablauf eingeplant werden können. Routinemäßige und dabei teils unnötige Wartungsprozesse und die dadurch entstehenden Aufwände entfallen. Zudem bietet der hohe Automatisierungsgrad der PRODISYS-Plattform bei der Abwicklung und dem Management von Wartungsaufträgen auf Seiten des Anlagenherstellers sowie dessen Kunden deutliche Effizienzsteigerungspotenziale.

Durch Data Analytics, realisiert über die PRODISYS-Plattform, können sich zudem signifikante Potenziale zur Erhöhung der Gesamtanlageneffektivität (OEE) ergeben. Verfügt die Produktionsleitung in diesem Zusammenhang permanent über Echtzeitdaten zum aktuellen Zustand des eingesetzten Equipments, kann dessen Auslastung durch eine intelligente und durch die Erkenntnisse aus der Datenana-

lyse optimierten Produktionssteuerung optimiert werden. Durch Predictive Maintenance kommt es außerdem zu weniger Ausfallzeiten an den Anlagen, da Störungen durch verschiedene Mess- und Analyseverfahren effektiver vorhergesehen und somit reduziert oder sogar vermieden werden können.

Durch die modulare Kompositionsmöglichkeit der auf der PRODISYS-Plattform verfügbaren Dienstleistungen und Dienstleistungskomponenten können auch in zahlreichen weiteren Bereichen der Produktion und anderen Unternehmensbereichen Produktivitätssteigerungen avisiert und realisiert werden. Ein konkretes Beispiel dafür ist die Anbindung der Systeme zur Lagerverwaltung an die Plattform, um in Kombination mit den Informationen aus den übrigen Dienstleistungen die Lagerhaltung

zu reduzieren sowie die Umschlaghäufigkeit zu steigern. Durch mittels der Plattform optimierter Produktionsprozesse können zudem Ausschussquoten sowie folglich der Wareneinsatz verringert und die Fertigung damit effizienter und nachhaltiger gestaltet werden.

Die Nutzung der Plattform bietet auch die Chance, die Zusammenarbeit mit Lieferanten zu intensivieren und das Lieferantenmanagement zu optimieren.

Folgende Potenziale gehen mit der Digitalisierung industrieller Wertschöpfung einher:

POTENZIALE

- Verstärkte Automatisierung und Autonomisierung
- „Losgröße eins“ zu Kosten der Massenproduktion
- Geschäftsmodellentwicklung
- Dezentralisierung
- Größere Flexibilität
- Fehler- und Ausfallreduktion
- Rüst- und Produktionszeitverringern
- Kürzere „Time-to-Market“
- Umfassende Produktindividualisierung
- Qualitätsverbesserungen
- Steigerung von Effektivität und Effizienz im Management und in Prozessen

Herausforderungen kennen und überwinden

Herausforderungen ergeben sich häufig aus den existierenden Geschäftsmodellen des produzierenden Gewerbes sowie inneren Strukturen dieser Firmen, wenn eine Anpassung oder sogar weitreichende Neugestaltung des Geschäftsmodells notwendig erscheint.

Im Kontext von Industrie 4.0 und dem daraus resultierenden Wandel des produzierenden Gewerbes sollten Unternehmen in diesem Sektor auf drei potenzielle Hinderniskategorien besonderes Augenmerk legen.

Geschäftssicht

Folgende Herausforderungen gehen mit der Digitalisierung industrieller Wertschöpfung einher:

- Komplexitätssteigerung
- Bedenken und Vorbehalte seitens Stakeholder
- Juristische Fragestellungen
- Transparenz
- Große Implementierungsaufwände
- System- und Datensicherheit
- Arbeitssicherheit

Technische Sicht

Die technischen Herausforderungen sind vielfältig. Die wesentlichen Hürden sind:

- unzureichende Datenbereitstellung und -nutzung
- keine einheitlichen Datenmodelle zur virtuellen Abbildung von Assets und Prozessen
- Keine durchgängige Kommunikation basierend auf leistungsstarken, modernen Kommunikationsmustern und -protokollen
- Vorherrschend monolithische Softwaresysteme und keine Einbindungsmöglichkeiten von Servicemodulen oder Service Bundles unterschiedlicher Anbieter

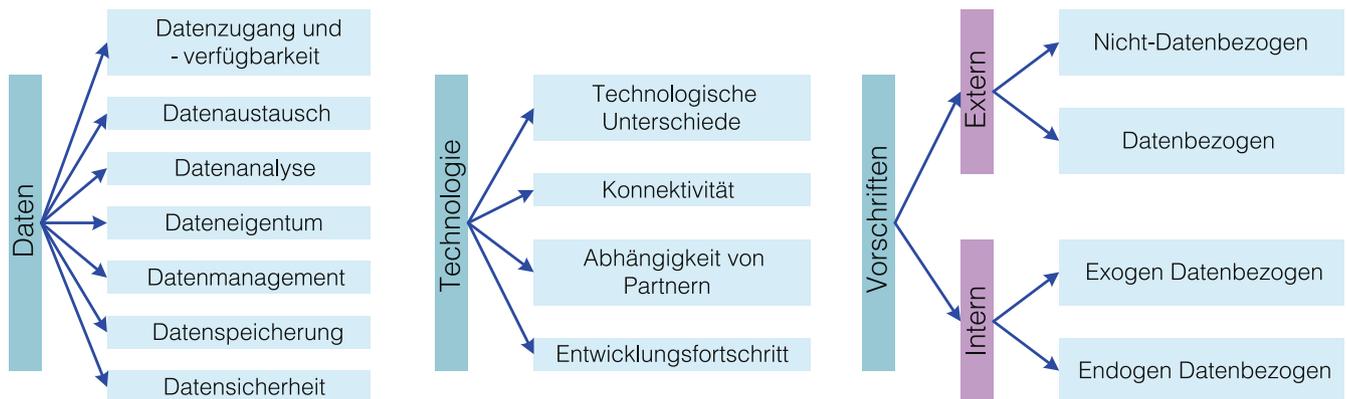
Fehlende Methoden

Herausforderungen im Zusammenhang mit Vorgehensweisen und Methoden zur Entwicklung von Systemen:

- Keine Etablierten Entwicklungsmethoden solcher Systeme (RAMI 4.0 nur bedingt geeignet)
- Heterogenität der Hardware im Feld (20 Jahre+)
- Neue Paradigmen (Edge-Intelligence) nur schwer zu etablieren
- Prozessdigitalisierung/Automatisierung noch nicht voll verstanden

Oftmals stellt bereits die Erhebung von Daten eine Schwierigkeit dar. Die notwendige IT-Infrastruktur muss geschaffen, Messgeräte installiert und Prozesse etabliert werden. Da nur Datenhomogenität eine Analyse ermöglicht, sollte idealerweise ein einheitliches Datenformat vorliegen. Durch die Schaffung eines

Datenstandards bzw. die Sicherstellung einer korrekten Transformation steht einer Datenanalyse nichts mehr im Weg. Weiterhin stellt sich die Frage nach der Datenzugehörigkeit. So muss beispielsweise geklärt werden, ob die durch Anlagen gewonnenen Daten dem Maschinenbauer oder dem Industrieprodu-



zenten gehören. Allen voran müssen die erhobenen Daten aber vor dem ungewollten Zugriff von außen geschützt werden, denn oft handelt es sich um wettbewerbsrelevante Informationen.

Ebenso können sich technologisch bedingte Hindernisse ergeben, da in der Produktion oftmals Maschinen und Anlagen verschiedener technologischer Entwicklungs- und Reifegrade im Einsatz sind. Hier gilt es, Unterschiede zu überwinden und durch sogenannte Retrofit-Lösungen veraltete Maschinen für die Zukunft zu modernisieren. Für den effizienten Einsatz ist es zudem notwendig, dass alle Anlagen untereinander verbunden und mit der Plattform verknüpft sind. Weiterhin entsteht

eine gewisse Abhängigkeit zwischen Anlagenhersteller und -nutzer, da die beiden Schlüsselpartner über die Plattform ein enges Gefüge bilden und nur durch effiziente Zusammenarbeit Erfolge erzielt werden können.

Als herausfordernd erweisen kann sich zudem eine (zu) restriktive, unternehmensintern oft mittels Weisungen verordnete und/oder durch externe, zumeist gesetzgebende Institutionen verfügte Regulierung. Schränken die Vorschriften oder Gesetze beispielsweise die Nutzung von Daten zu weit ein, beschränkt das auch die Ergreifung von Marktchancen durch Unternehmen des produzierenden Gewerbes.

Die Entwicklung geeigneter Softwarearchitekturen⁵

Die zunehmende Digitalisierung und die Trends im Zusammenhang mit Industrie 4.0 führen zu großen Veränderungen im produzierenden Gewerbe. Besonders stark sind davon unterstützende Prozesse wie die Instandhaltung betroffen, da deren Komplexität und Bedeutung durch neuartige Technologien und Geschäftsmodelle sowie die steigende Serviceorientierung wächst. Die Entwicklung entsprechender Informationssysteme, die ein

Wissensmanagement anbieten, Fernwartung und vorausschauende Instandhaltung ermöglichen und kontextsensitive Informationen über neuartige Benutzerschnittstellen bereitstellen und damit die Digitalisierung von Geschäftsprozessen unterstützen ist nicht trivial. Sie erfordert ein tiefes Verständnis der Domäne und der technischen Möglichkeiten. Zudem sind die einzelnen komplexen Elemente und Teilsysteme nur in Verbindung mit anderen

Abgrenzung zur Softwarearchitektur

„Eine Softwarearchitektur beschreibt die übergeordnete Struktur eines Softwaresystems und deren globale Kontrollstrukturen. Sie beschreibt die wesentlichen Softwarebausteine in Form von Komponenten und legt fest, wie diese interagieren und kooperieren“⁶

⁵ Reidt, A. (2019). Referenzarchitektur eines integrierten Informationssystems zur Unterstützung der Instandhaltung: <http://mediatum.ub.tum.de/?id=1443408>

⁶ Bruns, R. & Dunkel, J. (2010). Event-Driven Architecture und Complex Event Processing im Überblick. Event-Driven Architecture. 1. Aufl., S. 47–82, Berlin, Heidelberg, Deutschland: Springer.

Systemen sinnvoll nutzbar. Isolierte, proprietäre Entwicklungen und das Fehlen von Standards führen zusammen mit der Unkenntnis über umfassende und nicht nur anwendungsfall-spezifische Anforderungen zu Problemen bei der Interoperabilität, hohe Hürden im Kontext der Erweiterbarkeit und eingeschränkte unternehmensübergreifende Zusammenarbeit. Insbesondere der letzte Punkt ist essentiell, wenn es um die Entwicklung produktionsbezogener Dienstleistungssysteme geht.

Daraus folgt, dass die Entwicklung solcher Systeme eine hohe Komplexität und Kostenintensität aufweist, wodurch es insbesondere für kleinere und mittlere Unternehmen nicht möglich ist an den Potentialen der Digitalisierung im Zusammenhang mit dem Aufbau von Plattformökosystemen teilzuhaben.

Mit diesem Hintergrund sind Referenzarchitekturen ein probates Mittel, um Domänen- und Architekturwissen bereitzustellen und

die Entwicklung komplexer Systeme zu vereinfachen. Eine Referenzarchitektur soll die Entwicklung durch die Bereitstellung von Domänenwissen, generische und spezifische Anforderungen sowie eine abstrakte, auf Erweiterung ausgelegte Architektur des zu entwickelnden Systems mit vorab definierten Variationspunkten unterstützen. Diese Informationen müssen so dargestellt werden, dass die übergreifende Zusammenarbeit der am Entwicklungsprozess beteiligten Stakeholder gefördert wird.

“Eine Referenzarchitektur ist eine abstrakte Architektur, die dem Menschen die Entwicklung von Systemen, Lösungen und Applikationen erleichtern soll, indem sie Wissen bereitstellt und einen Rahmen zur Entwicklung vorgibt. Die Beziehung zwischen Referenzarchitektur und konkreter Architektur ist dadurch gekennzeichnet, dass Gegenstand oder Inhalt der Referenzarchitektur bei der Konstruktion der konkreten Architektur des jeweiligen zu

entwickelnden Systems (wieder-)verwendet werden. Die Referenzarchitektur besitzt einen technischen Fokus, verbindet diesen jedoch mit dem dazugehörigen Fachwissen der jeweiligen Domäne. Sie bildet durch ihre Ausprägung und ihren Inhalt ein gemeinsames Rahmenwerk, anhand dessen die detaillierten Diskussionen aller bei der Entwicklung beteiligten Stakeholder geführt werden können.”⁷

Referenzarchitekturen sind demnach keine konkreten Implementierungen, sondern vielmehr ein unterstützender Rahmen, durch den eine mögliche Vorgehensweise, angereichert mit Domänenwissen, zur Umsetzung und Implementierung beschrieben wird. Zur Erstellung eines solchen Entwicklungsrahmen sind im Kontext des Projektes die folgenden Schritte durchgeführt worden.

1. Festlegung des Ziels der Referenzarchitektur
Im Rahmen von PRODISYS war das Ziel die Erleichterung der Systementwicklung durch die Bereitstellung eines Rahmenkonzeptes. Ein anderes Ziel richtet

sich nach der Standardisierung der Architektur bzw. der zu entwickelnden Systeme.

2. Literaturrecherche
In diesem Schritt wurde ein grundlegendes Verständnis der Domäne und eine entsprechende Wissensbasis aufgebaut. Diese beinhaltet den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik, der die Basis zur Erstellung der Referenzarchitektur und den daraus resultierenden Systemen bildet.

3. Situation und Anforderungen aus der Praxis
Zur Sicherstellung der Praxisrelevanz und um die wichtigsten Informationen zur Erstellung dieser zu sammeln, wurden umfassende und generalisierbare Anforderungen für spezifische Einzelarchitekturen bzw. Systeme aus Perspektive der Domänenexperten aufgenommen.

4. Erstellung einer Domänenbeschreibung und Vereinheitlichung durch Festlegung und Standardisierung von Begrifflichkeiten
Die Domäne der Referenzarchitektur

⁷ Reidt, A., Pfaff, M., & Krcmar, H. (2018). Der Referenzarchitekturbegriff im Wandel der Zeit. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik. 55(5), S. 893-906.

wurde eindeutig beschrieben und nötige Begriffe identifiziert und vereinheitlicht. Im Fall von PRODISYS handelt es sich um Definitionen zu technischen Aspekten und Begrifflichkeiten sowie Benennungen von Funktionen und Anforderungen der produzierenden Industrie.

5. Extraktion generischen und optionaler Anforderungen an eine Referenzarchitektur Anhand der Ergebnisse aus Schritt 2 und 3 wurden die Anforderungen aggregiert und auf eine einheitliche Basis gebracht. Dabei wurde zwischen generischen und optionalen Anforderungen unterschieden. Letztere sind dabei spezifisch für einzelne Anwendungsfälle.

6. Überführung der gefundenen Anforderungen in n:1 Beziehungen in funktionale, logische Module Die im Schritt zuvor identifizierten Anforderungen wurden in diesem Schritt logischen Modulen zugeordnet. Ein Modul sollte möglichst eine logisch in sich geschlossene Einheit bilden und für eine

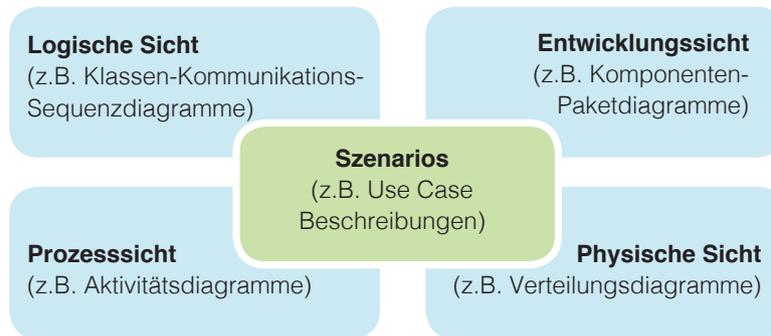
Funktion des Systems verantwortlich sein. Diese Module wurden noch mit Details bzgl. Umsetzbarkeit, Intelligenzverteilung und Interdependenzen zu anderen Modulen ergänzt.

7. Erstellung von Referenzprozessen Die Referenzprozesse wurden sich aus den Szenarien bzw. Anwendungsfällen abgeleitet. Dabei wurden die zuvor identifizierten Module entsprechend der Anforderungen verbunden, um einen logischen Handlungsablauf zu beschreiben.

8. Feedbackzyklen & Anwendung der Referenzarchitektur Im Rahmen von Interviews mit den unterschiedlichen Stakeholdern wurden die Ergebnisse der vorigen Schritte iterativ verbessert. Entsprechend haben sich Module, Begrifflichkeiten, Abhängigkeiten, Prozesse verändert und die Schritte 3 bis 8 wurden iterativ wiederholt.

Darstellung von Referenzarchitekturen

Das Modell von Kruchten unterscheidet zwischen 4+1-Sichten, die jeweils die Perspektive oder Sicht eines bestimmten Stakeholders (z. B. Endnutzer, Entwickler oder Projektmanager) auf das zu entwickelnde System beschreibt .



Logische Sicht

Diese Sicht beschreibt die Funktionalitäten und Services, die einem Benutzer zur Verfügung stehen. Die logische Sicht unterstützt vordergründig die funktionalen Anforderungen. Dabei wird die logische Architektur dargestellt, wodurch der Benutzer die zu erwartenden Services identifizieren kann. Um diese Ansicht zu erzeugen, wird das vorlie-

gende System analysiert, in eine Menge von sogenannten „Schlüsselabstraktionen“, z. B. in Form von Objekten oder Klassen, zerlegt und anschließend Gemeinsamkeiten und Designelemente zwischen diesen herausgearbeitet. Die Informationen dieser Sicht werden meist per UML-Klassendiagramme, -Kommunikationsdiagramme oder -Sequenzdiagramme dargestellt.

Entwicklungssicht

Die Entwicklungssicht beschreibt das System aus der Sichtweise eines Entwicklers und beschäftigt sich mit dem Softwaremanagement. Die Elemente der logischen Sicht bilden hierbei die Grundlage und werden für die Erzeugung von Softwarekomponenten genutzt. Deren Verteilung auf verschiedene Subsysteme und Schichten wird beispielsweise durch UML-Komponenten- oder -Paketdiagramme umgesetzt. Zusätzlich werden diese Komponenten hierarchisiert, wodurch sich eine strukturierte Darstellung der zu implementierenden Funktionalitäten ergibt.

Prozesssicht

In der Prozesssicht werden die dynamischen Aspekte des Systems verdeutlicht. Der Zusammenhang zwischen den Elementen aus der logischen Sicht, deren Zuordnung zu Kontrollflüssen, Kommunikationswegen und die notwendige Synchronisation werden beschrieben. Dadurch wird das Laufzeitver-

halten ersichtlich und zusätzlich nicht-funktionale Anforderungen wie Parallelität, Verteilung, Integration, Performance und Skalierbarkeit hervorgehoben.

Physische Sicht

Die physische Sicht befasst sich mit der Systemtopologie, der Verteilung und Kommunikation der verschiedenen Komponenten auf physischer Ebene. Es ist eine Sicht für Systemarchitekten, welche die Verteilung des zu entwickelnden Systems auf verschiedene Hardwarekomponenten und deren Verbindungen über Netzwerke planen.

Szenarios

Die der Architektur zugrundeliegenden Szenarien bilden die fünfte Sicht. Diese Szenarien stellen die wichtigsten Anwendungsfälle der Architektur bzw. der Anwendung dar. Diese Anwendungsfälle weisen teilweise Redundanzen auf, unterstützen jedoch durch die enthaltenen Abläufe bei der Identifikation von

Architekturelementen. Die Szenarien werden oft in Form von Use Cases grafisch oder textuell beschrieben und dienen als Implementierungsgrundlage für Anwendungen. Sie verbinden damit alle anderen Sichten.

Mit der Durchführung der genannten Schritte und durch die Beschreibungen der unter-

schiedlichen Sichten werden die Grundlagen und Rahmenbedingungen geschaffen, auf deren Basis eine konkrete Implementierung umgesetzt werden kann. Die Einzelnen Sichten unterstützen dabei die einzelnen Entwicklungsprozesse und helfen ein gemeinsames Verständnis des Gesamtsystems herzustellen und deren Entwicklung zu erleichtern.

Digitalisierung in der produzierenden Industrie

Von Computer Integrated Manufacturing bis Industrie 4.0

Die Ursprünge der sogenannten rechnerintegrierten Fertigung gehen bis in die frühen 1970-Jahre zurück. Joseph Harrington stellte damals das CIM-Konzept vor. Der Fokus lag auf der Integration von Computer Aided X Funktionen (CAx) sowie Produktionsplanungs- und -steuerungs- (PPS) sowie Betriebsdatenerfassungs-Systemen (BDE) in einem ganzheitlichen Ansatz. Die Vielfalt der Modelle und Ausprägungen⁸, aber auch die in diesen Jahrzehnten noch unzureichende Leistungs-

fähigkeit der IT-Systeme waren wesentliche Hindernisse für die erfolgreiche Umsetzung von CIM. Erst die großen Fortschritte im Bereich der Miniaturisierung bei gleichzeitiger Leistungssteigerung von Computerchips (vgl. Mooresches Gesetz⁹) erlauben die Weiterentwicklung automatisierter Produktionsanlagen zu CPPS, die mit Ihrer Umwelt interagieren, auf veränderte Bedingungen aktiv reagieren und ubiquitär kommunizieren.

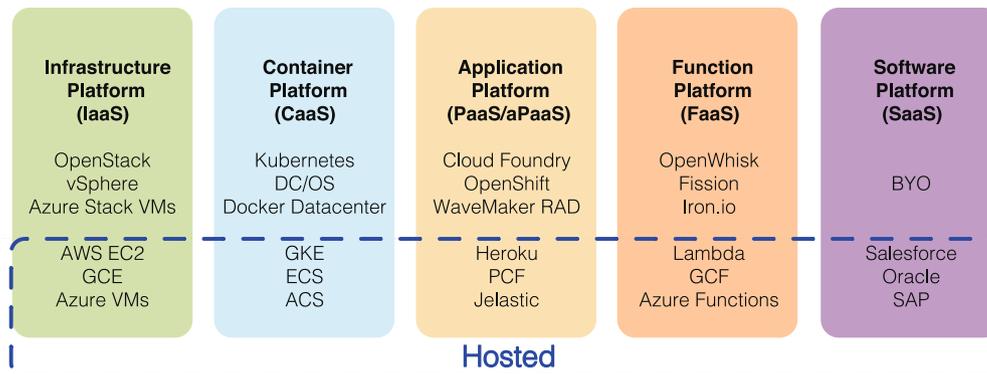
⁸ Meudt, T., Pohl, M., & Metternich, J. (2017). Modelle und Strategien zur Einführung des Computer Integrated Manufacturing (CIM) – Ein Literaturüberblick. TU Prints [TU Darmstadt - PTW] (Hrsg.). Darmstadt, Deutschland: TU Prints.

⁹ Hagelauer, R., Bode, A., Hellwagner, H., Proebster, W., Schwarzstein, D., Volkert, J., Plattner, B., & Schulthess, P. (1999). Informatik-Handbuch. 2. Aufl., München, Deutschland: Pomberger.

Der Weg zum Digital Industrial Service System

Rechenleistung und Kommunikationsfähigkeit bis in die kleinste mechatronische Komponente stiften erst Nutzen, wenn die Integration in das Industrial Internet of Things and Services gelingt und so die großen Datenmengen, die in der Produktion entstehen, servicebasiert weiterverarbeitet werden können. Die Entwicklungen aus dem Bereich der IT bieten dabei neue Potenziale: Sei es die Nutzung prozessnaher Optimierungsalgorithmen mit dem Ziel, Verbesserungen möglichst verzögerungsfrei in die Fertigung einzubringen, oder die Datenvorverarbeitung in der Edge für rechenintensive ML-Algorithmen, die mit der skalierbaren Leis-

tungsfähigkeit der Cloud ausgeführt werden. In diesem Kontext spielt auch die Entscheidung, welche Komponenten durch einen Servicepartner oder inhouse bereitgestellt und entwickelt werden, eine wesentliche Rolle – das Spektrum reicht dabei von der Bereitstellung der Infrastruktur (Infrastructure as a Service, IaaS) bis zur Bereitstellung integrierter Softwarelösungen (Software as a Service, SaaS). Außerdem ist die Art und Komplexität der Integration der verschiedenen Stakeholder, d. h. vom Lieferanten bis zum (End-)Kunden, in dem digitalen Ökosystem von zentraler Bedeutung.



Technischer Hintergrund

Technische Aspekte zur Gestaltung von Serviceplattformen

Virtualisierung, event- und nachrichtenorientierte Kommunikation, zu Service Bundles kombinierte (Micro-)Services und auch die Repräsentation von Assets im virtuellen Raum bieten erst dann einen realen Mehrwert für produzierende Unternehmen, wenn diese Aspekte auf Serviceplattformen integriert und zur Interaktion befähigt werden. Hierfür müssen sowohl die Teilnehmer als auch die Service-

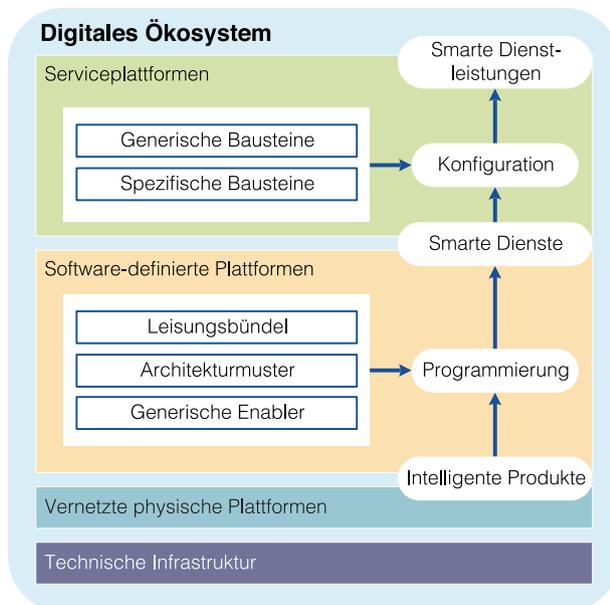
plattform selbst bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Dazu gehören unter anderem die Bereitstellung durchgängiger Virtualisierungslösungen und -tools, Methoden und Werkzeuge zur Dienstorchestrierung und -choreographie, eine geeignete Dienstsemantik sowie eine sichere, resiliente und zuverlässige Infrastruktur, die Skalierbarkeit und Performanz garantiert.

Aufbau von Serviceplattformen

Die Realisierung einer Serviceplattform erfolgt nach einem hierarchischen Schichtenmodell. Dabei werden Eigenschaften und Funktionen vererbt. Der Fokus einer Serviceplattform liegt auf der betriebswirtschaftlichen Integration von Smart Services und der Monetarisierung

der daraus entstehenden Dienstleistungen. Sie stellt demnach eine Abstraktion der technischen Implementierung der softwaredefinierten Plattform dar und erweitert diese durch Management- und Prozessbausteine.¹⁰

¹⁰ Kagermann, H. & Riemensberger, F. (2015). Smart Service Welt: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft. Abschlussbericht Langversion. Bonn, Deutschland.



Service-Orchestration vs. Service-Choreographie

Bei der **Service-Orchestrierung** koordiniert eine zentrale Serviceinstanz alle an einem Geschäftsprozess beteiligten Entitäten – der sogenannte Orchestrator. Er ist verantwortlich für den Aufruf und die Kombination einzelner Dienste.

Die **Service - Choreographie** hingegen repräsentiert einen dezentralen Ansatz: Die Choreographie ist lediglich eine globale Beschreibung aller an einem Gesamtprozess beteiligten Dienste. Die Abläufe sind nur durch den Austausch von Nachrichten oder Regeln zur Interaktion festgelegt. Ein Beispiel hierfür sind Prozesse, in denen ein Dienst durch ein Event (z. B. eine Nachricht) getriggert wird.

Digitale Service Bundles

Verknüpfung von Dienstleistungen

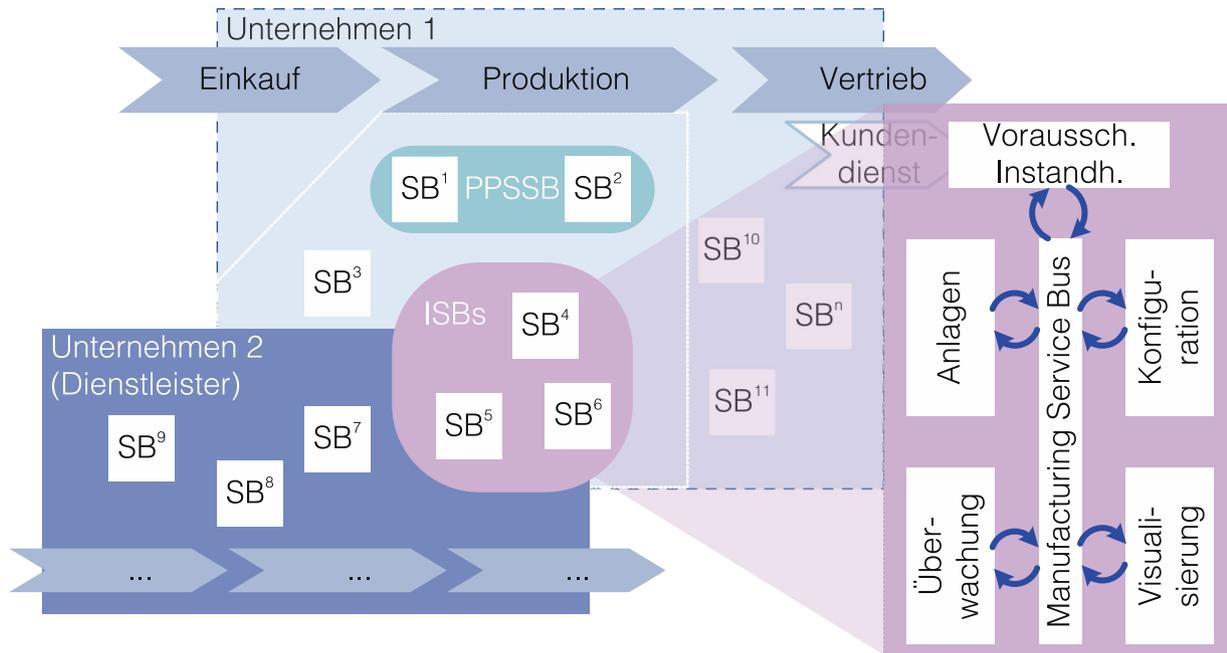
Im Kontext von Industrie 4.0 entwickelte digitale Services sind in den meisten Fällen für isolierte Anwendungsfälle konzipiert und erlauben nur selten eine integrative Nutzung in einem verteilten Servicesystem. Allerdings bietet jeder Einzelservice einen höheren Mehrwert, sofern er in ein Servicesystem integriert werden kann und dadurch für andere Entitäten ebenfalls nutzbar wird. Es geht dabei nicht um die Gestaltung und Einführung gänzlich neuer IT-Systeme. Vielmehr wird die Transformation durch Ergänzung und Erweiterung bestehender Strukturen angestrebt.

Der plattformbasierte Ansatz in PRODISYS ermöglicht die Orchestrierung digitaler Dienste und stellt diese so in einen größeren Zusammenhang im Kontext wertschöpfender Dienstleistungssysteme. PRODISYS integriert dezentrale Dienste, kombiniert diese API-basiert anforderungsgerecht, stellt eine einheitliche,

gemeinsame Datenbasis zur Verfügung und befähigt eine durchgängige Wertschöpfung anhand klar gesteuerter Prozesse. Der Aufbau der PRODISYS-Plattform ist so ausgelegt, dass er zukünftig auch die interaktionsbasierte Kommunikation zwischen Service-Entitäten auf Basis der Industrie 4.0-Sprache¹¹ befähigen wird.

Die Kopplung der Services hängt direkt mit der Gestaltung der Schnittstellen und der zugrundeliegenden Kommunikationsarchitektur und -technologie zusammen. Die Abkehr von archaischen Shared File oder Shared Database Storage Lösungen hin zu nachrichtenorientierten Ansätzen in event-getriebenen Architekturen geben dem System die nötige Freiheit, da jederzeit Teilnehmer integriert werden können, ohne Veränderungen am Gesamtsystem vornehmen zu müssen – das System skaliert die notwendige Leistung selbstständig.

¹¹ BMWi (2018). I4.0-Sprache – Vokabular, Nachrichtenstruktur und semantische Interaktionsprotokolle der I4.0-Sprache: Plattform Industrie 4.0.



ISB = Instandhaltungsbezogene
Servicebundles
SB = Servicebundle

PPSSB = Produktionsplanungs und
-steuerungs-Servicebundles

Dekomposition wertschöpfender Geschäftsprozesse in Service Bundles am Beispiel der
Instandhaltung

Hybride Produkte

Servitization in der produzierenden Industrie

Hybride Produkte, also die Kombination aus Sach- und Dienstleistungen, die dem Kunden als integrierte Leistungsbündel angeboten werden, sind in der produzierenden Industrie bereits seit längerem etabliert. Ein klassisches Beispiel ist der Vertrieb von Sondermaschinen in Kombination mit z. B. Instandhaltungsdienstleistungen.

Neue Ansätze für hybride Produkte ergeben sich allerdings aus den Möglichkeiten, die die verstärkte Digitalisierung mit sich bringt: Durch die Verfügbarkeit von Rechenleistung und extensiven Kommunikationsfähigkeiten wachsen physische Komponenten und digitale Dienstleistungen noch stärker zusammen. Unternehmen gestalten ihre Produkte heute digital.

Produktionsbezogene Dienstleistungsplattformen

Einen realen Mehrwert und einen positiven Effekt auf die Wertschöpfung haben digitale Anteile eines Produkts nur dann, wenn die Funktionen durch den Kunden richtig genutzt werden und die gewonnenen Informationen zum Unternehmen zurückfließen. Dazu ist die Verknüpfung des Herstellers, des Kunden und des Produkts über produktionsbezogene Dienstleistungsplattformen notwendig.

Design Pattern und Entwurfskonzepte

Für die Entwicklung der produktionsbezogenen Dienstleistungsplattform im Rahmen des Projekts PRODISYS wurden verschiedene, vor allem im IT-Bereich etablierte, Entwurfsmuster und -konzepte in den industriellen Kontext überführt und genutzt:

Serviceorientierte Architekturen (SOA) sind ein Architekturmuster aus der IT zur Strukturierung und Nutzung von Services in verteilten Systemen. Die Implementierung richtet sich dabei immer nach konkreten Geschäftsprozessen, z. B. dem vorgestellten Serviceprozess.

Das **Microservice-Paradigma** ergänzt in unserer Sichtweise den SOA-Ansatz im Kontext der Serviceimplementierung. Hierbei geht es um die klare Kapselung von Funktionen und die Bereitstellung einer definierten Schnittstelle, der sogenannten API.

Kritischer Bestandteil einer dienstbasierten Architektur ist ein valides **Kommunikationsmodell** für alle Entitäten. PRODISYS setzt dabei auf leichtgewichtige Kommunikationsmuster und -technologien: Durch die Integration einer nachrichtenorientierten Dienstschicht, sogenannte Message Oriented Middleware (MOM), gelingt es, die Intelligenz in den Servicemo-

dulen zu kapseln und für robuste und resiliente Kommunikation zu sorgen.

Auch die **digitale Repräsentation** von Assets und Prozessen steht im Fokus der Arbeiten in PRODISYS. Nur auf Basis valider Informationsmodelle können automatisierte Service Bundles etabliert werden.

Serviceorientierte Architekturen

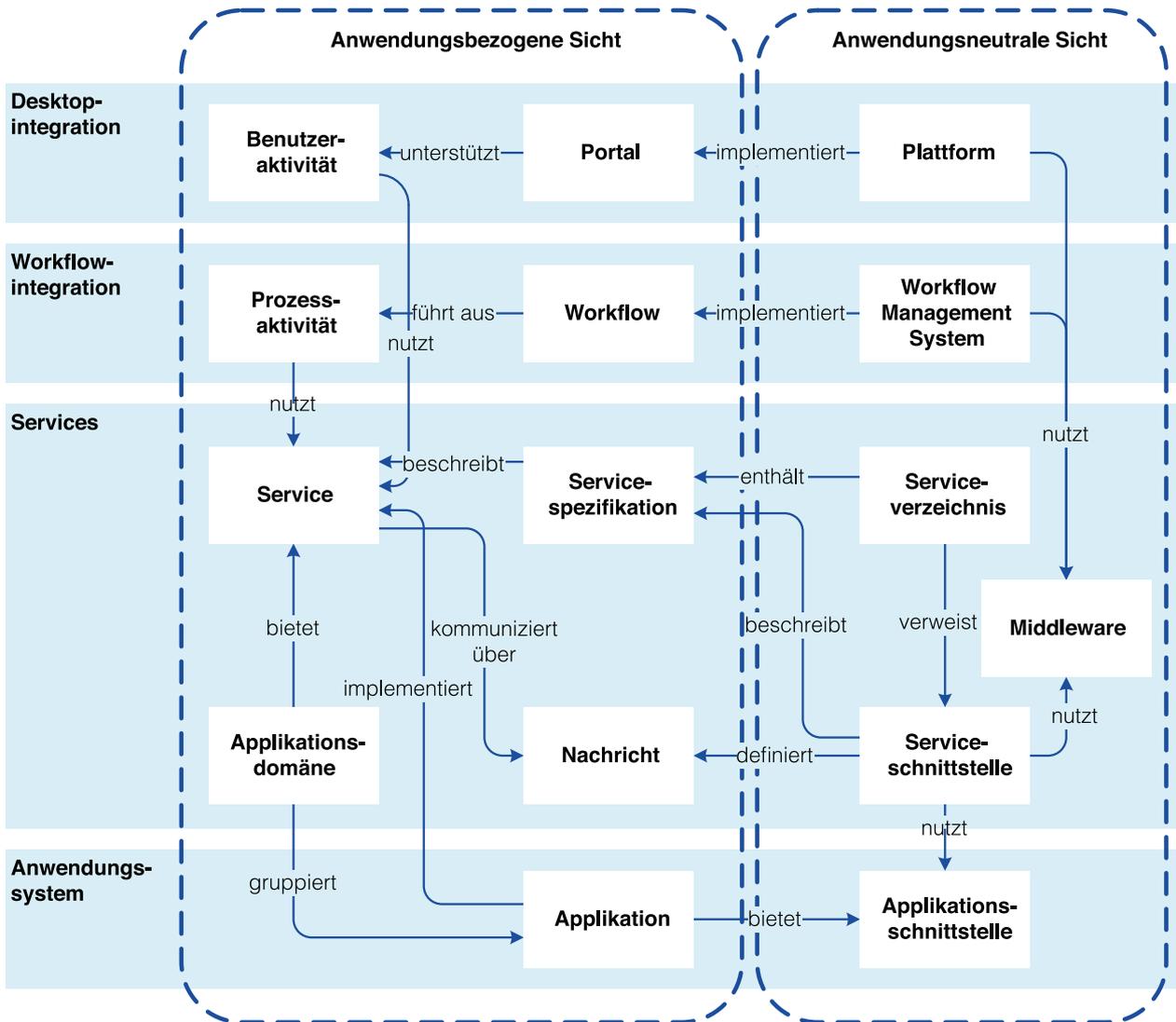
Aus der Business-Perspektive werden SOA als Instrument gesehen, um IT-Innovationen effizient und ökonomisch umzusetzen. In der technischen Betrachtung hingegen bildet eine SOA ein Architekturmodell für die Entwicklung von Softwarekomponenten, um monolithische Softwarestrukturen durch kleinere, gekapselte und strukturierte Services zu substituieren. Der gemeinsame Kern jeder SOA-Ausprägung umfasst folgende Charakteristika: Service- und Schnittstellenorientierung, Interoperabilität, Autonomie und Modularität, Lose Kopplung, Zustandslosigkeit und Wiederverwendbarkeit.

Gekapselte Serviceelemente als Basis

Umfangreiche, monolithische Applikationen können auf Basis von SOA derart zerlegt werden, dass sich eine Netzwerkstruktur aus einer Vielzahl teilautonomer Subsysteme ergibt. Diese Komponenten sind innerhalb des Gesamtsystems lose gekoppelt und bilden ein kohäsives System, in dem beschrieben ist, inwieweit ein entwickelter Service und dessen Funktionen zur Erfüllung eines definierten, logisch abgeschlossenen Zweckes beitragen.

Eine SOA besteht neben funktionsorientierten Services auch aus einer Reihe von Infrastrukturdiensten, die die Architektur komplettieren. Diese Architekturkomponenten können in ein mehrschichtiges Modell eingeordnet werden.¹² Es beschreibt eine Orchestrierungs- bzw. Integrationsplattform, welche die logische Applikationsschicht mit der fachlichen Prozessschicht vereint.

¹² Heutschi, R. (2007). Serviceorientierte Architektur: Architekturprinzipien und Umsetzung in die Praxis. Berlin, Heidelberg, Deutschland: Springer.



Microservice-Paradigma

Systemgestaltung auf Basis atomarer Softwareentitäten

Das Microservice Pattern ist im Kontext von Business-Applikationen keine revolutionäre Neuheit. Anders sieht dies allerdings im Kontext industrieller Anwendungen der produzierenden Industrie aus. Das Entwurfsmuster hat das Ziel, eine Applikation aus einem Satz eigenständiger, unabhängiger, kleiner Dienstkomponenten aufzubauen, die leichtgewichtige Kommunikationsmechanismen nutzen. Im Vergleich zu monolithischen Systemen ist bei einer Änderung kein neues Deployment des Gesamtsystems notwendig. Das Microservice Pattern zeichnet sich u. a. durch folgende, zentrale Eigenschaften aus:

→ „Divide et Impera“-Prinzip: Die Verantwortung für einen Service liegt beim jeweiligen Entwickler-Team.

→ Smart Endpoints – Dumb Pipes: Die Intelligenz liegt ausschließlich in den Servicemodulen, die Kommunikationsinfrastruktur dient nur zum Datentransport.

→ Dezentralisierte Verwaltung

→ Vorwiegend dezentralisierte Datenhaltung

Das Zusammenspiel der Serviceentitäten im Gesamtsystem richtet sich in PRODISYS nach dem Choreografie-Ansatz. Es existiert kein zentraler Orchestrationsdienst, der über die strikte Einhaltung eines Prozessflusses wacht. Vielmehr reagieren lose gekoppelte Komponenten auf Events und Nachrichten, die sie abonnieren (Publish-/Subscribe-Pattern in einer eventgesteuerten Architektur).

Serviceintegration

Plattformunabhängigkeit in plattformbasierten Ökosystemen

Ein Schlüsselfaktor für die Gestaltung plattformbasierter Ökosysteme, in denen Services lose gekoppelt miteinander interagieren und über eine gemeinsame Kommunikationsinfrastruktur kommunizieren, lautet Plattformunabhängigkeit. Jedem Stakeholder soll erlaubt werden, Dienste mithilfe der Tools zu entwickeln, die für den Anwendungsfall am besten

geeignet sind. Durch die Definition von APIs sowie die Nutzung standardisierter Austauschformate und Kommunikationskanäle können die Werkzeuge zur Implementierung der Logikbausteine frei gewählt werden. Von HTML5 und JavaScript für webbasierte Frontends über Python für ML-Anwendungen bis hin zu effizienten C/C++-basierten Programmen für anlagen- und prozessnahe, kommunikationsfähige Embedded Systems.

Virtualisierung im Kontext industrieller Services

Von der virtuellen Maschine bis Docker

Insgesamt steigt der Anteil der Software nicht nur in Produkten für den Consumer-Markt, sondern auch in Maschinen und Anlagen kontinuierlich an. Die Fortschritte im Bereich der IKT des letzten Jahrzehnts bringt leistungsfähige Embedded Devices in die Anlage, entwickelt die SPS zum Edge Device weiter und steigert Kapazitäten zur Datenverarbeitung in Rechenzentren. Eine große Herausforderung ist das situationsgerechte Deployment von Software in verteilten Systemen. Dabei kommt den Anbietern industrieller Servicekomponenten allerdings eine Erfindung aus dem IT-Bereich, konkret der Webentwicklung, zugute: Virtualisierungslösungen.

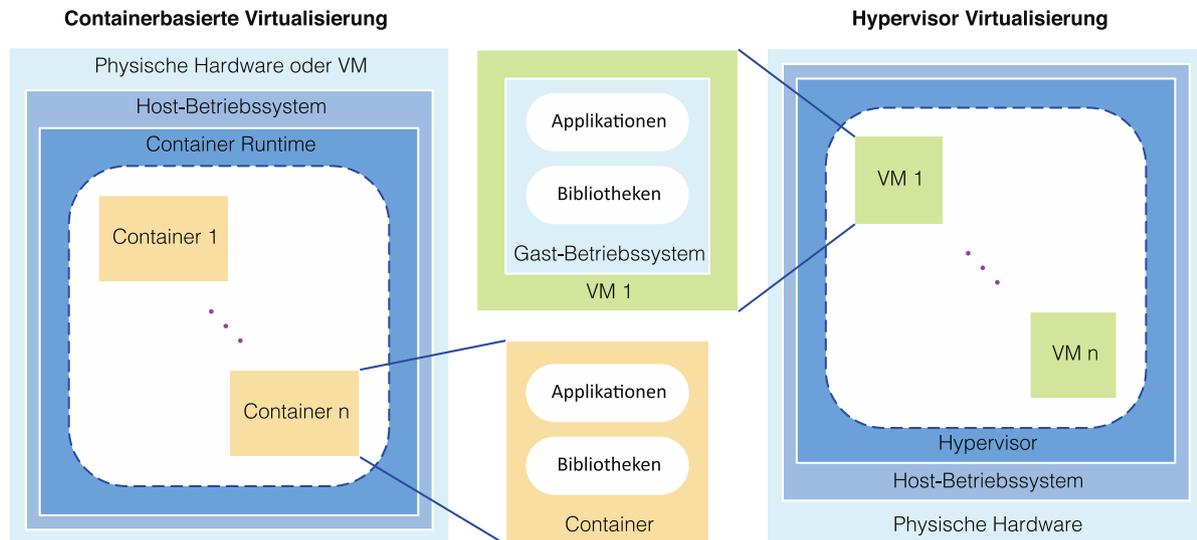
Die Vielfalt reicht dabei von einer virtuellen Maschine, die auf einem Hochleistungsserver ein komplettes virtuelles Betriebssystem

bereitstellt, bis zum leichtgewichtigen virtuellen Container. Insbesondere der Vorteil der zweiten Variante liegt auf der Hand: Solche Images sind per definitionem vollständig, d. h. sie bringen alle notwendigen Komponenten mit und funktionieren out of the box. Zusätzlich ist die Trennung zwischen Laufzeitumgebung und containerisiertem Softwareprozess stärker, was die Sicherheit erhöht: Fremde Prozesse und Daten sind für Images nicht zu sehen.

Auch im Projekt PRODISYS setzen wir auf Software-Container. Dabei nutzen wir den Marktführer Docker. Die Einzelservices industrieller Service Bundles werden als Docker Images zur Verfügung gestellt und kommunizieren über die gemeinsame MOM. So lassen sich aus kleinen Servicekomponenten komplexe Gebilde interdependenter Container kombinieren, die zusammen z. B. einen konkreten

Geschäftsprozess abbilden. Das Deployment und die Einrichtung erfolgt dennoch spielend einfach über den Befehl `docker-compose up`. Hinzu kommt, dass sich containerisierte Anwendungen sehr gut skalieren lassen: Bei wachsendem Bedarf werden einfach zusätz-

liche Instanzen einer Komponente gestartet. Dem wachsenden Softwareanteil in der industriellen Produktion stehen also mächtige Tools zur Seite, die die Digitalisierung der Industrie ausgezeichnet ergänzen.



Kommunikation in industriellen Plattformökosystemen

In SOAs wurde zu Beginn der serviceorientierten Softwareentwicklung häufig auf den sogenannten Enterprise Service Bus (ESB) gesetzt. Heute haben sich leichtgewichtiger Messaging Lösungen in Kombination mit asynchronen Interaktionsmustern etabliert.

Nachrichtenorientierte Dienstschichten

Ausgehend von einem meist datenbasierten Austausch zu den Anfängen der industriellen Automatisierung (vgl. Ansätze des Computer Integrated Manufacturing, CIM) hat sich die Kommunikation im industriellen Kontext über Server-/Client-Verbindungen hin zum eigentlich banalen Austausch von Nachrichten über einen simplen Nachrichtenbus entwickelt (Smart Endpoints – Dumb Pipes)¹³. Eine MOM koordiniert den Datentransfer zu verschiedenen Empfängern und dient als

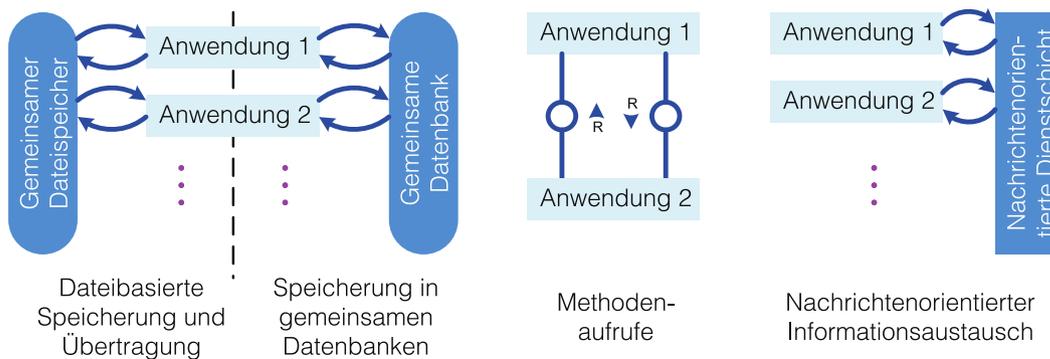
vermittelnde Instanz. Bei der Anwendungsintegration können verschiedene Stile unterschieden werden (siehe Infokasten). Abgesehen davon, dass der nachrichtenbasierte Austausch zwischen Softwarekomponenten die komplexeste Variante der Kommunikation darstellt, bringt sie einige Vorteile mit sich: Der Datenaustausch zwischen Anwendungen erfolgt asynchron, wodurch blockierte Prozesse vermieden werden. Dadurch werden Datensender und -empfänger entkoppelt, was eine wesentliche Eigenschaft für verteilte Systeme ist. Darüber hinaus stellt eine MOM Nachrichten in eine Warteschlange und ordnet sie, stellt ihre Integrität sicher und verfolgt den Erfolg der Zustellung.

Neben der Art der Anwendungsintegration ist die Semantik der bereitgestellten Daten ein entscheidender Erfolgsfaktor für die automati-

¹³ Hohpe, G. & Woolf, B. (2015). *Enterprise integration patterns*, 9^a reimp. Addison-Wesley signature series. Boston, USA.

sierte industrielle Interaktion. Ein Enabler dafür ist der industrielle Kommunikationsstandard OPC UA. Mit ihm können Informationen modelliert, kodiert und von Computern interpretiert werden. So können beispielsweise nicht nur Datenwerte eines Sensors, sondern auch Kontextinformationen über den Sensortyp

dargestellt oder das gesamte Asset abgebildet werden. Die Auswahl eines bestimmten Datenformats ist nicht mehr von Bedeutung und kann nach einem Best-Practice-Prinzip erfolgen, da unterschiedliche Formate für unterschiedliche Aufgaben geeignet sind.



Die vier Arten der Applikationsintegration in Anlehnung an Hohpe und Woolf¹³



Die Kommunikation im industriellen IT-Kontext entwickelte sich von einem meist dateibasierten Austausch in den Anfängen der industriellen Automatisierung hin zu Lösungen mit einer sogenannten Message Oriented Middleware (MOM)¹⁴. Diese koordiniert den Datentransfer zu verschiedenen Empfängern und dient als vermittelnde Instanz. Bei der Anwendungsintegration können verschiedene Integrationsstile unterschieden werden. Nach Hohpe und Woolf¹⁵ sind dies Filetransfer, gemeinsame Datenbanken, Remote Procedure Invocation und Messaging.

Obwohl das Messaging der komplexeste der vier genannten Integrationsansätze ist, birgt er eine Reihe von Vorteilen: Der Datenaustausch zwischen der sendenden und der empfangenden Anwendung erfolgt asynchron. Dadurch werden Sender und Empfänger entkoppelt, was eine wesentliche Eigenschaft für verteilte Systeme ist. Außerdem kann der Messaging-Mechanismus die Nachricht bei Bedarf so umwandeln, dass sie bestimmten Datenformaten entspricht¹⁶. Weiterhin stellen nachrichtenorientierte Dienstschichten Nachrichten in eine Warteschlange, ordnen sie, stellen ihre Integrität sicher und verfolgen den Erfolg der Zustellung¹⁷.

¹⁴ Sommer, P., Schellroth, F., Fischer, M., & Schlechtendahl, J. (2018). Message-oriented middleware for industrial production systems. In: Vogel-Heuser, Birgit. 2018 IEEE 14th International Conference on Automation and Engineering (CASE). 20.-24. August, S. 1217–1223. Piscataway, USA: IEEE.

¹⁵ Hohpe, G. & Woolf, B. (2015). Enterprise integration patterns, 9th reimp. Addison-Wesley signature series. Boston, USA.

¹⁶ Razzaque, M. A., Milojevic-Jevric, M., Palade, A., & Clarke, S. (2016). Middleware for internet of things: A survey. IEEE Internet Things J. 3(1), S. 70–95.

¹⁷ Yongguo, J., Qiang, L., Changshuai, Q., & Jian, S. (2019). Message-oriented middleware: A review. 5th International Conference on Big Data, Computing and Communications (BIGCOM). 9.-11. August, S. 88-97, QingDao, China.

Industrie 4.0-konforme Asset-Repräsentation und Integration

Erst die Repräsentation eines Assets – eines Dings – in der virtuellen Welt ermöglicht die Integration in digitale Serviceplattformen. Dazu soll im Kontext von Industrie 4.0 die Verwaltungsschale oder Asset Administration Shell (AAS) dienen. Sie bildet zusammen mit dem Asset die Industrie 4.0-Komponente und begleitet diese über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg.

Ausprägung, Funktion und Bereitstellung der AAS

Der AAS-Header wird zur Identifikation der AAS sowie des Assets genutzt, wohingegen der Body die Teilmodelle enthält, mit deren Hilfe Eigenschaften und Fähigkeiten einer Industrie 4.0-Komponente abgebildet werden. Jedes Teilmodell ist eine Merkmalsammlung und spiegelt inhaltliche, beschreibende oder funktionale Aspekte: Die Produktidentifikation,

die Dokumentation, Daten zur Zustandsüberwachung, die Prozessfähigkeit oder Informationen zum Energiemanagement einer Komponente.¹⁸

AAS können als passive, dateibasierte Repräsentationen bereitgestellt werden. In diesem Fall kann sie selbst keine Aktionen ausführen. Die reaktive AAS besitzt ein Interface, über das sie angesprochen werden und auf Anfragen reagieren kann. Von der proaktiven AAS spricht man, wenn sie Industrie 4.0-konform kommunizieren kann und kooperativ Aufgaben initiiert und bearbeitet.

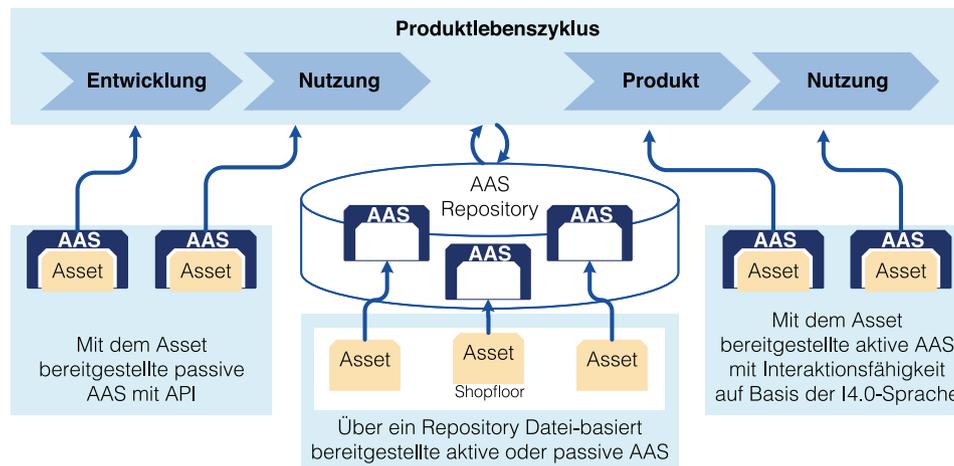
Abbildung von Assets in der AAS

Ein verbreitetes industrielles Kommunikationsprotokoll ist OPC UA – allerdings bietet diese Technologie mehr: Die wahre Stärke zeigt sich erst durch die umfangreichen Möglich-

¹⁸ Plattform Industrie 4.0 (2020). Verwaltungsschale in der Praxis. Diskussionspapier: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2020-verwaltungsschale-in-der-praxis.pdf?__blob=publicationFile&v=3

keiten zur Erzeugung semantischer Informationsmodelle. Eine wesentliche Rolle spielt die Spezifikation OPC UA Part 100: Devices. Diese Norm standardisiert die Grundlagen der digitalen Repräsentation industrieller Komponenten. Diese Vorgaben wurden im Rahmen von PRODISYS in ein AAS-Teilmodell überführt

und zur Beschreibung von Assets genutzt.¹⁹ So konnten Assets auf Basis eines existenten, anerkannten Standards in die AAS überführt und bereitgestellt werden. Der Einsatz der Verwaltungsschale wird auch am Praxisbeispiel des Konsortialpartners SAP deutlich.



¹⁹ Fuchs, J., Schmidt, J., Franke, J., Rehman, K., Karnouskos, S., & Sauer, M. (2019). I4.0-compliant integration of assets utilizing the Asset Administration Shell. 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). 10.-13. September, Saragossa, Spanien.

Industrie 4.0-konforme Abbildung von Fertigungsprozessen

Die Verwaltungsschale soll nicht nur statische Eigenschaften digital verfügbar machen. Auch die Abbildung dynamischer Werte in entsprechenden Teilmodellen bis hin zur Repräsentation von Fähigkeiten, sogenannten Skills, gehört zum Leistungsspektrum. Dynamische Werte charakterisieren dabei Fertigungsprozesse. Diese Werte werden von nachgelagerten Smart Services weiterverarbeitet und z.B. im Kontext der vorausschauenden Instandhaltung eingesetzt.

Generische Modelle zur Prozessrepräsentation

Im Kontext der produzierenden Industrie besitzen Fertigungsprozesse höchste Relevanz. Die DIN 8580 kategorisiert und charakterisiert die meisten dieser Fertigungsprozesse und die Erzeugung komplexer Modelle für Urform-, Umform-, Füge-, Trenn- oder sonstige

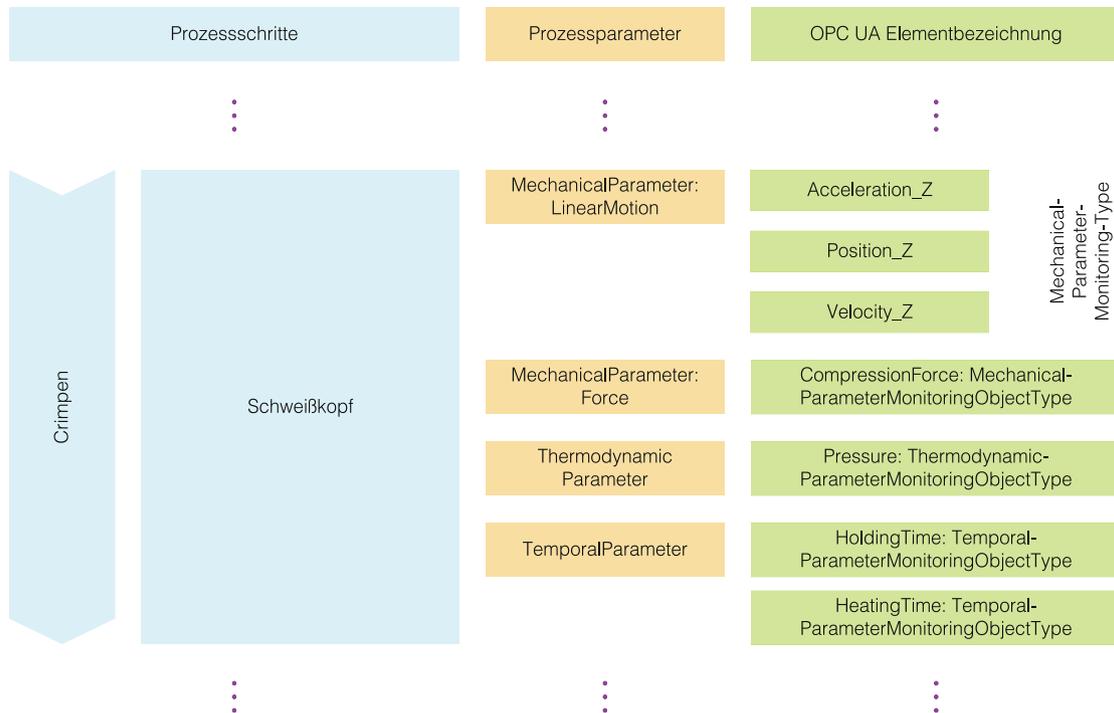
Verfahren ist eine komplexe Aufgabe.

Im Kontext von PRODISYS wurden grundlegende Wirkprinzipienmodelle und ein umfangreiches Energiemodell erstellt. Diese dienen zur verallgemeinerten Abbildung spezifischer Fertigungsverfahren. So werden durch diese virtuellen Informationsmodelle nicht nur die Produktionsanlagen, sondern auch die Fertigungsprozesse für nachgelagerte Dienste verfügbar gemacht und in das digitale Plattformökosystem integriert.

OPC UA-basierte Abbildung von Prozessparametern

Variable Prozessparameter und -messgrößen entstehen z. B. als Sensorwerte auf der Feldebene und werden zur Steuerung und Regelung genutzt. Die Kategorisierung verschiedener Prozessparameter erfolgt im PRODISYS-An-

satz nach praktischen Gesichtspunkten – hier ein Ausschnitt aus dem Prozessmodell ausschlaggebend sind physikalische und prozessbezogene Aspekte. Exemplarisch wird für eine Variante des Fügeprozesses „Heiß-Crimpen“ vorgestellt.



Prototyp des Plattformökosystems auf Basis der Umsetzungen

Vielfalt is key – durch das interdisziplinäre und breit aufgestellte Konsortium im Projekt PRODISYS wurde auf Basis der Referenzarchitektur ein umfangreicher Prototyp mit vielfältigen Funktionen und gemeinsamen Schnittstellen aufgebaut sowie die Tragfähigkeit des Konzepts anhand ausgesuchter Implementierungen verifiziert.

Das Gesamtsystem in a nutshell

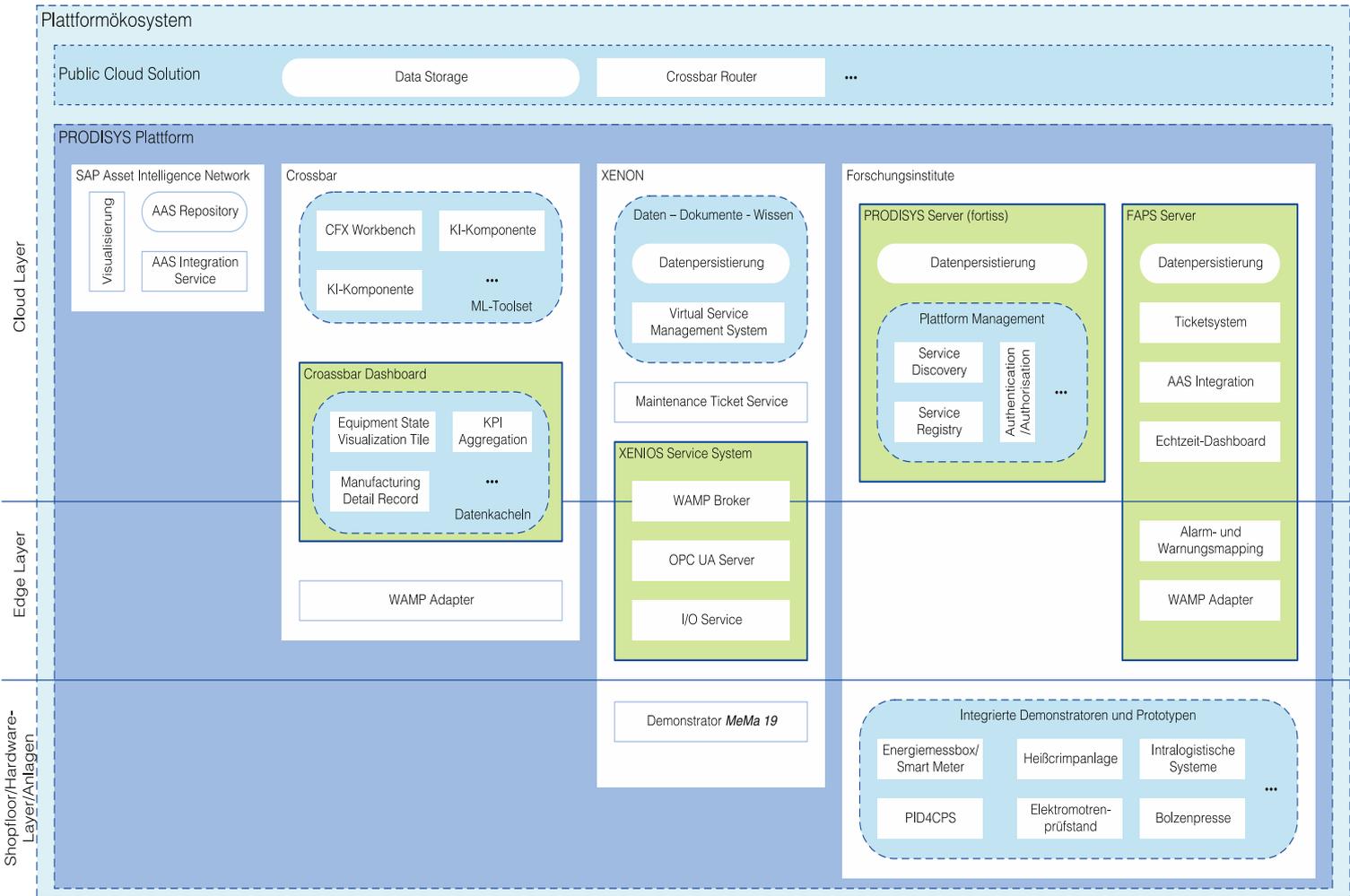
Eine große Herausforderung, die in PRODISYS adressiert wurde, ist die barrierefreie Verknüpfung einzelner Servicekomponenten. Und das nicht nur innerhalb eines Unternehmens, sondern über Unternehmensgrenzen hinweg. In der Übersichtsgrafik sind die wesentlichen Akteure im Projekt, deren Arbeitsebene und ihre Beiträge dargestellt. Jede Unternehmensebene, vom Shopfloor bis zur Cloud, konnte im Projekt erfolgreich integriert und datentechnisch verbunden werden:

Im *Shopfloor* werden Anlagen und Komponenten durch OPC UA-Informationsmodelle digital abgebildet und so deren Betriebs-

Zustands- und Prozessdaten digital verfügbar gemacht.

Über Kommunikationsadapter auf *Edge-Ebene* werden Daten aggregiert und für nachgelagerte Services aufbereitet. Hier beginnt auch die Orchestrierung, bzw. Choreographie der Dienste.

In der *Cloud* werden z. B. mit dem SAP Asset Intelligence Network (SAP AIN) Möglichkeiten bereitgestellt, Anlagen weltweit online verfügbar zu machen. Die Kopplung erfolgt dabei auf Basis der Verwaltungsschale, für die ein Teilmodell zur Anlagenintegration und das entsprechende Mapping entwickelt wurde. Der Projektpartner Crossbar liefert mit Crossbar.io nicht nur ein effizientes und sicheres Kommunikationsframework. Zusätzlich entwickelte Crossbar ein modulares Dashboard, in dem völlig frei und sehr simpel Dienste zur Datenvisualisierung, zur Alarmierung bei Anlageausfällen oder sogar zum Streaming von Videoübertragungen für z. B. Remotezugriffe im Kontext der Fernwartung integriert werden können. Das Dashboard ist webbasiert und



damit plattformunabhängig. Der Sondermaschinenbauer XENON hat mithilfe der PRODISYS-Plattform Teile seines Servicegeschäfts noch stärker digitalisiert und automatisiert. Die datentechnische Verbindung zwischen den Anlagen beim Kunden und dem Servicesystem von XENON beschleunigt den Instandhal-

tungsprozess deutlich und konnte bereits während der Projektlaufzeit erfolgreich in das Produktportfolio des Anlagenbauers integriert werden. Die vollautomatisierte Variante dieses Ansatzes wurde ergänzend am Lehrstuhl FAPS implementiert.

Prototyp: Digitalisierung der Produktion am Beispiel Instandhaltung

Optimierung des Serviceprozesses durch Digitalisierung

Ein erfolgreich umgesetztes Beispiel ist die Entwicklung des Service Bundles Automatisiertes Serviceticket gemeinsam mit dem Praxispartner XENON. Dabei wurde der Serviceprozess des Sondermaschinenbauers digitalisiert und dadurch für Anlagenhersteller und -betreiber optimiert:

Prozessveränderung

Ausgehend von der ursprünglich manuellen Erzeugung einer dateibasierten Störungsmeldung im Falle eines Anlagenstillstands durch

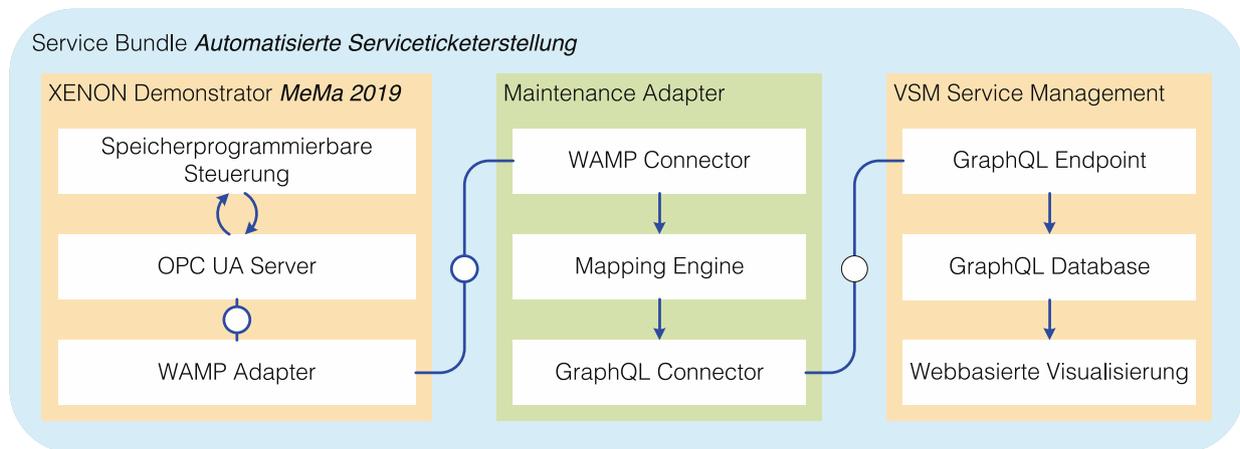
den Maschinenbediener wurde ein interaktiver Prozess zum Störungsmanagement entwickelt, der Störungsinformationen aus unterschiedlichen Quellen aggregiert und dabei sowohl die Anlage als auch den Menschen einbezieht. Die so generierten Meldungen werden nahezu verzögerungsfrei in das cloudbasierte Virtual Service Management (VSM) System des Herstellers übertragen und können dort sofort weitergenutzt werden.

Technische Sicht

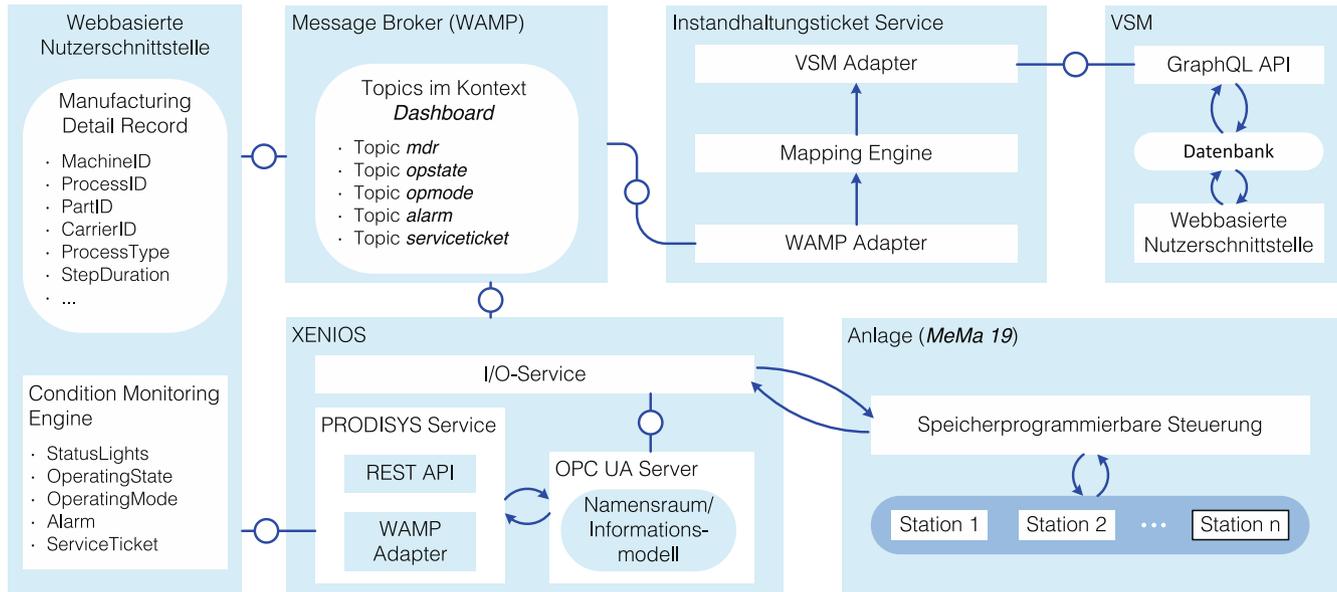
Das kommunikationstechnische Rückgrat des Service Bundles besteht aus mehreren Softwarekomponenten. Prozess- und Anlagen-

daten werden mithilfe eines OPC UA-Servers gesammelt bereitgestellt. Um noch größere Kommunikationsfreiheit zu erreichen, erzeugt ein Adapter im Störfall ein vom Anlagenhersteller definiertes Datenpaket, das alle relevanten Fehlerinformationen enthält und verteilt dieses automatisch oder nach Freigabe durch den Bediener über das Web Application Messaging Protocol (WAMP) von Crossbar. Das eigenständige Servicemodul Maintenance Adapter, das auf der PRODISYS-Plattform

instanziiert ist, empfängt nach dem Subscribe-Muster diese Datenpakete, bereitet sie für die Speicherung in der Datenbank des VSM auf und übergibt sie der Schnittstelle. Parallel werden die von der Anlage bereitgestellten Daten über den Message-Broker für die Visualisierung in einer plattformunabhängigen Web-UI genutzt. Die Systemübersicht verdeutlicht den modularen Aufbau der Software, wie sie nun bei XENON Verwendung findet.



Systemübersicht XENIOS im Kontext des Projekts PRODISYS



Veränderungen im Geschäftsmodell

Mit dem Service Bundle Automatisiertes Serviceticket wurde ein System geschaffen, das alle Informationen, Aktivitäten und Dokumentationen für die Bearbeitung und Unterstützung bei einer Maschinenstörung zentral sammelt und den Servicemitarbeitern bereitstellt. Die Kopplung mit weiteren Systemen ist

möglich – so lassen sich z. B. das ERP- oder das Smart Live Support System in den Prozess mit einbinden. Die Erweiterung des Geschäftsmodells besteht in der automatisierten Erstellung und Bearbeitung einer qualifizierten Online-Störmeldung im VSM-System über wahlweise die XENON Website, das maschinenintegrierte XENIOS Service Ticketmodul oder einen benutzerbezogenen Direktzugang

in die VSM-Cloud via Webinterface. Mit diesem System können globale Servicevorgänge abgebildet und interdisziplinär bearbeitet werden. Auf dieser Basis kann eine effiziente Zusammenarbeit zwischen verschiedenen, weltweit verteilten Service- und Lieferstandorten sowie deren Fachabteilungen und dem Maschinenbetreiber erfolgen.

Der nächste Schritt – Automatisierte Entscheidungsfindung

Im vorangegangenen Beispiel wurde ein praxisorientierter Ansatz für die Digitalisierung eines Geschäftsprozesses aufgezeigt. Kernbestandteil von solchen Prozessen sind in den meisten Fällen Entscheidungen, welche oft mit der Freigabe von (finanziellen) Ressourcen zusammenhängen. Dies ist ein wesentlicher Grund, warum Entscheidungen meist von einem Experten getroffen oder zumindest freigegeben werden müssen. Allerdings: Die Einflussfaktoren für oder gegen eine Entscheidung steigen mit der zunehmenden Komplexität moderner Produktionsnetzwerke,

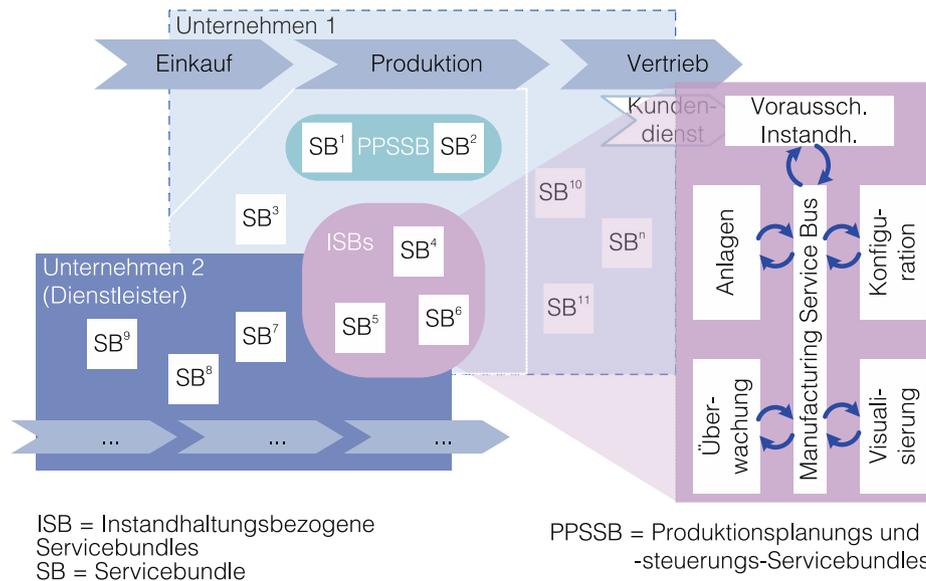
weshalb auch hier die Unterstützung durch den Computer wesentlich zur Komplexitätsreduktion beitragen kann – nämlich, wenn der Anwender nur noch bestimmte Optimierungsvorgaben machen muss und algorithmisch das Optimum abgeleitet wird.

Dieser Anwendungsfall wurde konzeptionell bzw. prototypisch im universitären Umfeld betrachtet. Durch die Integration einer Decision Engine, mithilfe derer der Anwender nur die generelle Optimierungsrichtung – in diesem Fall nur die rudimentären Grundgrößen Zeit, Kosten und Qualität – vorgibt, wird die Entscheidung für oder gegen die Erstellung eines Servicetickets und damit für oder gegen die Durchführung einer Instandhaltungsmaßnahme auf Basis vorgegebener Regeln getroffen. Die Anwendung stellt also die verzögerungsfreie Integration eines Case-based Reasoning Systems auf Shopfloor-Ebene im Kontext der Instandhaltung dar.

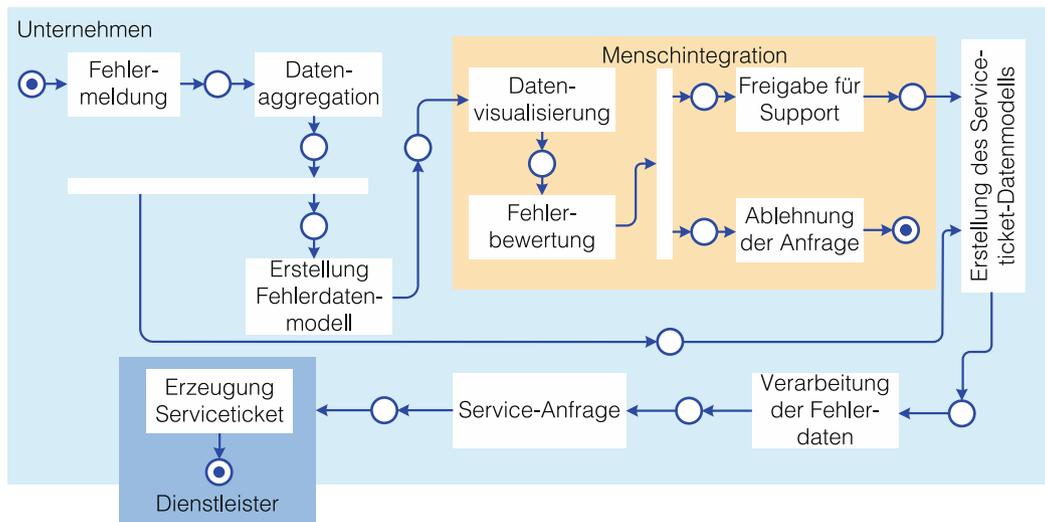
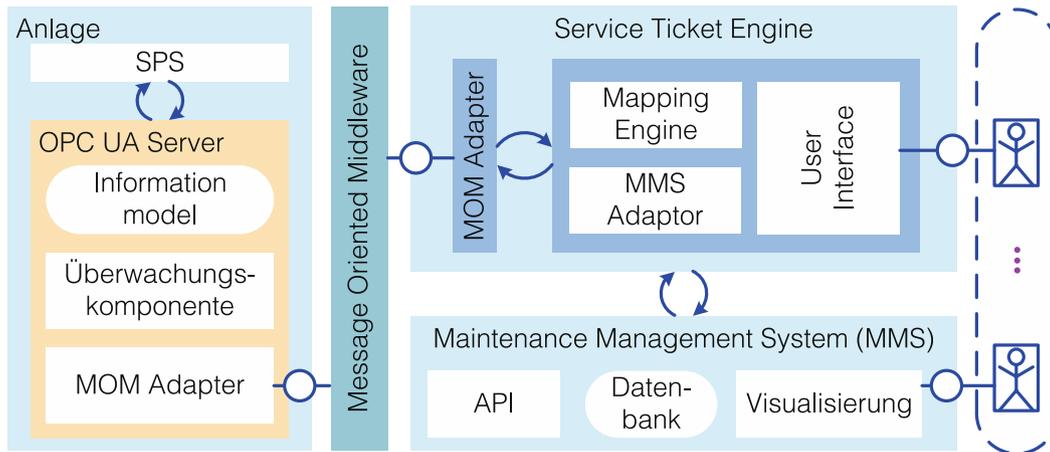
Die strikte Vorgabe bestimmter Regeln ist aber nur der erste Schritt, das Vorgehen an

sich bietet weitere Potenziale. Beispielsweise können auf Basis getroffener Entscheidungen mit ML-Algorithmen Verhaltensweisen erlernt werden, die die Entscheidungsgüte erhöhen. Zusätzlich können dem Anwender durch das

System Empfehlungen zu Handlungsoptionen oder Informationen zu kritischen und schwer erkennbaren Einflussfaktoren gegeben werden.



Dekomposition wertschöpfender Geschäftsprozesse in Service Bundles am Beispiel der Instandhaltung



Control as a Service (CaaS) – Die Königsklasse der Serviceorientierung

Nicht nur im Kontext der Instandhaltung, sondern auch im Bereich der Fertigung können modulare Services die Flexibilität und die Bedienbarkeit automatisierter Produktionsanlagen positiv beeinflussen. Ein konkretes Anwendungsbeispiel wurde im universitären Kontext an den Lehrstühlen FAPS und WI1 der FAU Erlangen-Nürnberg prototypisch umgesetzt.

CaaS für Elektromotorenprüfstände

Aufgrund der intensiven Elektrifizierung vieler Branchen und dem weit verbreiteten Einsatz von Elektromotoren unterschiedlicher Leistungsstufen, haben wir einen kompakten Elektromotorenprüfstand für Motoren bis circa 500 W als Demonstrator aufgebaut.

Hardwareaufbau

Aus Hardwaresicht wurde das System – abgesehen von der Mess- und Belastungseinrichtung – bewusst kosteneffizient konzipiert und umgesetzt.²⁰ Dennoch besteht der Demonstrator aus ausschließlich industrietauglichen, zertifizierten Komponenten. Als zentrale Steuerungskomponente wurde ein Revolution Pi (RevPI) verbaut, der umfangreiche Konfigurations- und Programmiermöglichkeiten bietet. Insgesamt ist das System modular erweiterbar, was auch durch die aktive Einbindung in den Lehr- und Forschungsbetrieb an den beiden beteiligten Lehrstühlen Ausdruck findet.

Softwaretechnische Umsetzung

Die hardwareseitige Modularität muss sich natürlich auch im Steuerungskonzept widerspiegeln. Dabei steht das flexible Datenhandling im Vordergrund. Um dieses Ziel zu erreichen, richtet sich die Systemarchitektur

²⁰ Oks, S. J., Jalowski, M., Fritzsche, A., & Möslin, K. M. (2019). Cyber-physical modeling and simulation: A reference architecture for designing demonstrators for industrial cyber-physical systems. *Procedia CIRP*, 84, S. 257-264.

nach dem Ansatz der Cyber-Physical-Microservices (CP μ S) ²¹, wonach jede Funktion des Systems als Microservice gekapselt wurde. Um die Gesamtfunktion abzubilden, werden die einzelnen Entitäten dann in Form eines Service Bundles verknüpft. Durch die streng schnittstellenorientierte Kommunikation ist es möglich, einzelne Module oder sogar die gesamte interne Architektur der Applikation zu ändern, ohne Funktionen einzuschränken oder Interaktionspartner des Bundles ändern zu müssen. Die einzelnen Softwaremodule können in einem verteilten Ansatz bereitgestellt werden. Lediglich der eigentliche „Control Service“ zur Steuerung des Prüfprozesses muss zwingend auf dem RevPi verortet sein, da ein dedizierter Hardwarezugriff nötig ist.

Jedes Modul wird als eigenständiger Softwarecontainer über die Docker-Technologie bereitgestellt. Da es keinen Prozess-Scheduler gibt, wurden die Servicegrenzen entlang der Prozessgrenzen der einzelnen Funktionen

gezogen und auf Multiprocessing-Anwendungen verzichtet. Die parallele Abarbeitung von Routinen realisiert die asyncio-Bibliothek, wodurch nicht mehrere Prozesse oder Threads geöffnet werden müssen. Diese Umsetzung vermeidet Instabilitäten aktiver Container.

Die einzelnen Elemente des Service Bundles zur Steuerung des Demonstrators laufen in der Runtime des RevPi und werden über den simplen Befehl `docker run` gestartet. Nach außen wird die Gesamtfunktion des Prüfstands über ein OPC UA- und WAMP-basiertes Gateway abgebildet, das einerseits Betriebsdaten bereitstellt und andererseits Anweisungen von anderen Services empfängt und verarbeitet.

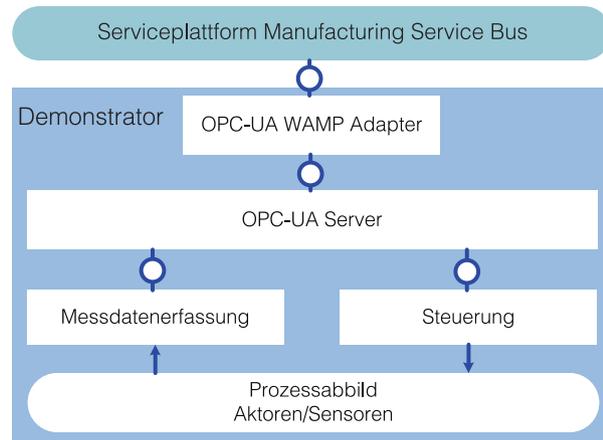
Einbindung in das Plattform-Konzept

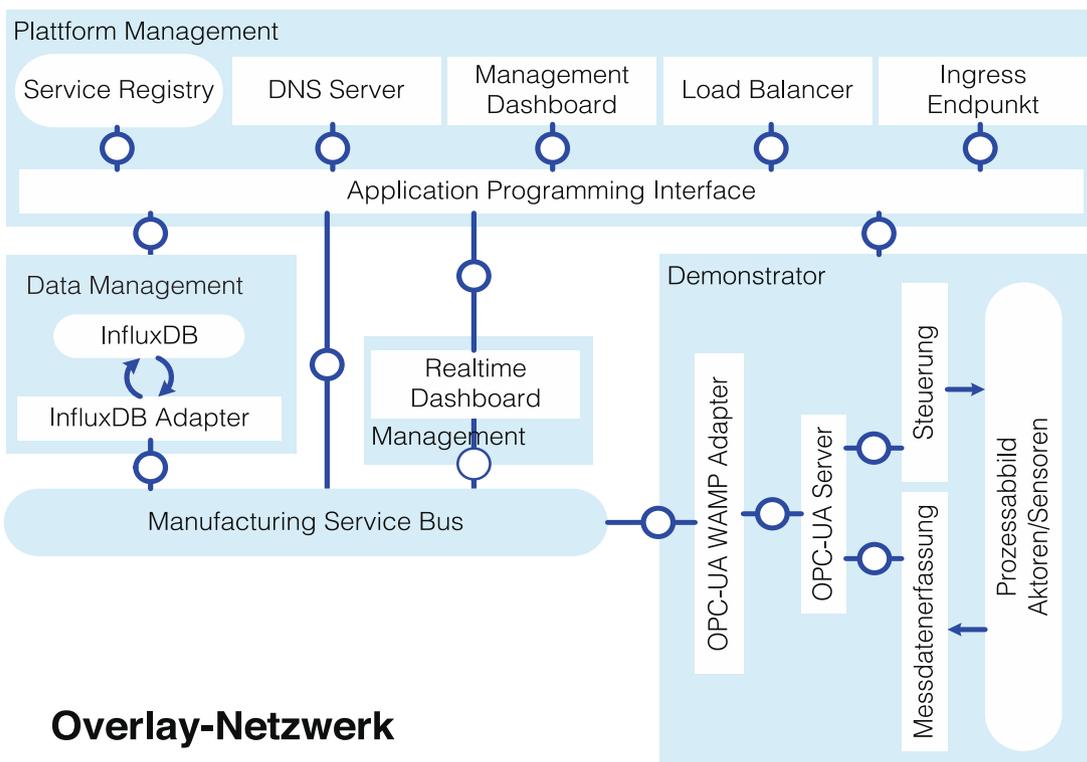
Das Management der verschiedenen Services übernimmt das Dienst-Verwaltungs-Framework Kubernetes in einer leichtgewichtigen

²¹ Thramboulidis, K., Vachtsevanou, D. C., & Solanos, A. (2018). Cyber-physical microservices: An IoT-based framework for manufacturing systems. 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS). S. 232-239.

Variante (k3s) für die Nutzung in leistungsbeschränkten Systemen. Die auf diese Weise in das System eingebundenen Services können über das webbasierte Kubernetes Dashboard administriert werden. Der Einsatz von k3s ermöglicht den automatisierten Hochlauf aller benötigten Services beim Start der Hardwarekomponenten. Zusätzlich können die

Dienste so im laufenden Betrieb aktualisiert, neu gestartet oder rekonfiguriert werden. Auch die Überwachung der Zustände der Services obliegt Kubernetes: Wird der Container oder der Prozess durch einen Fehler terminiert, startet Kubernetes automatisch einen neuen Container, um den in der Deklaration konfigurierten Zustand wiederherzustellen.





Durchgängige Datenkontrolle und -verfügbarkeit – industrielle Anwendungen auf Basis sicherer und schneller Kommunikation

Der Praxispartner Crossbar adressiert eines der zentralen Probleme im industriellen Internet der Dinge und Dienste: Die echtzeitfähige Vernetzung von Komponenten über System- und Netzwerkgrenzen sowie und Programmiersprachen hinweg.

Message Backbone WAMP

Das durch Crossbar.io initiierte und zentral entwickelte, offene Kommunikationsprotokoll Web Application Messaging Protocol (WAMP) realisiert alle Aspekte einer IIoT-fähigen Kommunikations-Middleware. Es lassen sich sowohl Informationen effizient verteilen als auch Prozeduren auf beliebigen Endgeräten aufrufen.

Durch die Offenheit des Protokolls besteht eine sehr breite Unterstützung von Programmiersprachen. Ob Java, C#, C++, Python, JavaScript oder Exoten wie Erlang: Entwickler sind frei darin, Komponenten in der Sprache zu entwickeln, die für den Einsatzzweck und die zur Verfügung stehenden Ressourcen optimal ist. Dabei können in unterschiedlichen Sprachen geschriebene Komponenten nahtlos miteinander kommunizieren.

Der Crossbar.io Message Router ist der zentrale Hub, mit dem sich alle Komponenten verschlüsselt verbinden. Durch diese ausgehenden Verbindungen entfällt eine der größten Angriffsflächen im IIoT - offene Ports an den Endgeräten, die durch Angreifer oft innerhalb von Minuten ausgenutzt werden. Dadurch, dass die Verbindungen optional über WebSocket als Transportschicht laufen, ist ein Einsatz überall dort problemlos möglich, wo HTTP-Webtraffic erlaubt ist. Mit dem Crossbar.io Message Router in der Open-Source-Variante lassen

sich bereits hunderttausende Verbindungen gleichzeitig halten und zehntausende Events oder Anfragen pro Sekunde vermitteln - und das auf Standard-Server-Hardware, die der Nutzer unter seiner Kontrolle betreibt.

Die kommerzielle Variante, Crossbar.io FX, bietet darüber hinausgehende Skalierbarkeit durch die Vernetzung mehrerer Router sowie interne Optimierungen. Dazu kommen mächtige Werkzeuge, um auf Endgeräten containerisierte Anwendungskomponenten zu installieren und zu kontrollieren. Crossbar.io FX bietet damit eine Plattform für Anwendungen im industriellen Internet - von der Sensorerfassung über die Prozess- und Maschinensteuerung bis hin zu Edge Analytics und Computing.

Flexibles Dashboard für die Fertigung

Im Kontext des Projekts PRODISYS stellt Crossbar.io aber nicht nur die notwendige Kommunikations-Middleware. Mit einem extrem flexiblen und anpassbaren Dash-

board konnte Crossbar die Potenziale einer einheitlichen und effizienten Infrastruktur für den Datenaustausch im industriellen Umfeld zeigen.

Das Dashboard adressiert ein zentrales Problem in der modernen Fertigung: Wie macht man die große Menge erzeugter Daten für die Benutzer einer Maschine bis hin zum Controlling so zugänglich, dass basierend hierauf im Bedarfsfall zeitnah gehandelt werden kann? Es gilt hierbei nicht nur rollen- sondern auch situationsabhängig unterschiedliche Übersichten zu ermöglichen, welche von der jeweiligen Nutzerrolle selbst zusammengestellt werden können.

Das entwickelte Dashboard ermöglicht die Live-Darstellung unterschiedlicher Datenquellen sowie deren Auswertung in einem gemeinsamen Rahmen. Benutzer können sich aus Einzelkomponenten schnell Seiten konfigurieren, welche jeweils benötigte Informationen im Zusammenhang anzeigen. So kann sich

beispielsweise ein Anlagenbediener für das Hochfahren der Maschine selbst, das Anfahren der Produktion, den Normalbetrieb oder auch verschiedene Fehlertypen jeweils individuelle Übersichten mit Live-Daten erstellen und schnell zwischen diesen wechseln. Wenn eine neue Situation eintritt, kann dafür sofort eine passende neue Übersicht zusammengestellt werden.

Die Komponenten für die Darstellung der Informationen werden mit Web-Technologien entwickelt, erfordern also kein Spezialwissen bei den Entwicklern. Es steht der volle Umfang der Features moderner Browser zur Verfügung. Die Breite und Tiefe des modernen HTML5-Ökosystems mit Bibliotheken für so gut wie jeden denkbaren Anwendungszweck ist die Basis dafür, dass Anzeigen von der einfachen Zahlendarstellung bis hin zu komplexen grafischen Darstellungen mit wenig Aufwand erstellt werden können. Sowohl Daten-Update-Ströme als auch durch den Benutzer ausgelöste Anfragen lassen sich leicht imple-

mentieren, so dass auch komplexere Anwendungen realisierbar sind. Neue Komponenten lassen sich aus dem Dashboard heraus über das Inter- oder Intranet installieren, womit eine stetige Erweiterung, auch einzelanlassbezogen, problemlos möglich ist.

Die Übertragung der Daten über WAMP und Crossbar.io erfolgt in Echtzeit und mit minimalem Kommunikations-Overhead. So sind schnelle Reaktionen der Benutzer auf akute Ereignisse möglich. Durch die ausgehenden Verbindungen auf Standard-Ports vom Dashboard zum Crossbar.io-Router ist keine gesonderte Freigabe durch die IT notwendig. Das Dashboard läuft überall dort, wo prinzipiell Web-Zugriff möglich ist. Es bestehen von einem Panel direkt an der Maschine über das Tablet auf dem Shopfloor bis hin zum PC des Schichtleiters die gleichen Zugriffsmöglichkeiten.

MATERIAL BURN RATE

		+30d	+90d
Article 1	20.343	↗11.5%	→4.3%
Article 2	311.495	↖14.6%	↗17.5%
Article 3	4.532	↘48.5%	↖2.7%

PERFORMANCE



ROUND TRIPS

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Energy meter Siemens SENTRON PAC



```
pageflip.simulation.82d3475d-43ea-46c7-a3ba-19eda6814f98
```

```
{
  "treclient": 587.7,
  "voltage": 231.674,
}
```

Crossbar.io HealthMon



CPU Load (%)

5.48

Memory Usage (%)

15.10

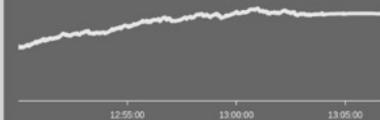
Current Connections

11895

Messages per second

5480

XBR Overview



XBR Balance

2311.64

Data Sales

10744

Data Purchases

1168

Interoperabilität in der Ära von Industrie 4.0

Die Interoperabilität zwischen Maschinen, Diensten und Anwendungen ist eine Voraussetzung, um die Industrie 4.0-Vision von offenen Ökosystemen, Pluralität und Flexibilität zu erreichen.

Durch die Vernetzung und den Austausch von Informationen industrieller Assets eröffnen sich neue Möglichkeiten, ergänzenden Mehrwert in der Wertschöpfungskette eines Unternehmens und darüber hinaus zu schaffen.

In diesem Kontext sind herstellerübergreifende und branchenneutrale Standards erforderlich, um eine einheitliche Kommunikation und Semantik zu gewährleisten und über unternehmensübergreifende Netzwerke hinweg zusammenzuarbeiten.

Heute, selbst wenn die Konnektivität zwischen den Assets als gegeben angenommen werden kann, sind die eingesetzten technischen Standards in einer bestehenden Systemlandschaft

sehr heterogen und größtenteils proprietär.

Bei gemeinsamen Projekten, insbesondere in Brownfield-Szenarien, kann die Erweiterung eines Systems oder einer Anlage ein zeit- und kostenintensiver Prozess sein. Die nicht-standardisierten Datenstrukturen oder die Speicherung von Informationen in proprietären Formaten können ebenfalls zu erhöhtem Integrationsaufwand und geringerer Innovationsfähigkeit führen.

Die Verwaltungsschale als Enabler von Interoperabilität

Die Interoperabilität wurde als ein strategisches Ziel von Plattform Industrie 4.0 für 2030 (neben Autonomie und Nachhaltigkeit) gesetzt.²² Als Schlüsselkomponente der Industrie 4.0-Referenzarchitektur spielt die Verwaltungsschale (VWS) eine zentrale Rolle. Die VWS wird von der Plattform Industrie 4.0 unter Beteiligung von mehr als 5000 teilnehmenden Unternehmen spezifiziert und ist als standardisierte, digitale Abbildung eines Assets zu

²² Plattform Industrie 4.0 (2019). Leitbild 2030 für Industrie 4.0 – Digitale Ökosysteme global gestalten: <https://industrie40.isometric.site/#/>

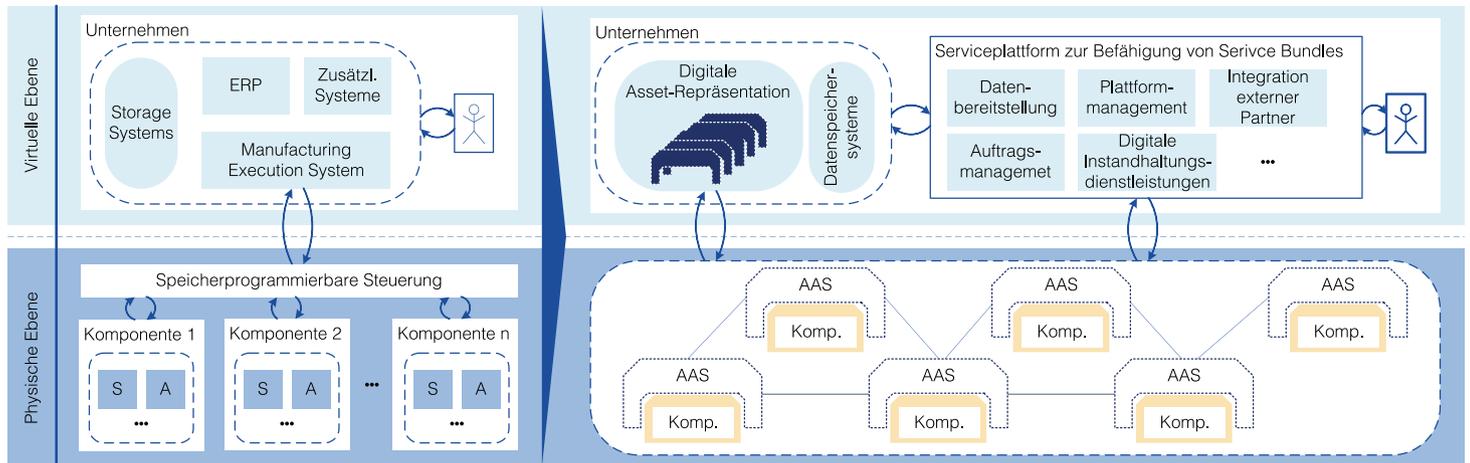
verstehen. Eine VWS kann digitale Modelle verschiedener Aspekte (sogenannte Teilm Modelle) enthalten und beschreibt technische Funktionen, die durch die jeweiligen Assets offengelegt werden.

Als eines der Gründungsmitglieder der Plattform Industrie 4.0 Initiative beteiligt sich SAP

aktiv an der Spezifikation der VWS. Durch gemeinsame Projekte wie PRODISYS und enge Zusammenarbeit mit Partnern und Forschungsinstituten fördert SAP die Einführung der VWS in ihre Lösungen und unterstützt die horizontale und vertikale Interoperabilität in heterogenen Ökosystemen und Geschäftsnetzwerken.

Von heterogenen, starren Systemen ...

... zu serviceorientierten Ansätzen und ubiquitärer Kommunikation zwischen I4.0-Komponenten



Intelligent Asset Management

Innovationen in Bereichen wie Machine-Learning und künstliche Intelligenz ermöglichen Funktionen der nächsten Generation für den Betrieb und die Wartung von Anlagen. Um das bestmögliche aus diesen Technologien herauszuholen und Dienste wie die prädiktive und präskriptive Wartung anzubieten, ist es wichtig, die Diskrepanzen zwischen der Verteilung von Daten durch mehrere Softwarelösungen zu beseitigen und einen gemeinsamen Ort, den sogenannten „Single-point-of-truth“ für alle Assets, zu integrieren. Die SAP AIN Lösung bietet ein Geschäftsnetzwerk für Lieferanten von Komponenten, Maschinenherstellern und Anlagenbetreibern. Das SAP AIN ermöglicht die Vernetzung und Zusammenarbeit von Geschäftspartnern über den gesamten Lebenszyklus von Assets, was zu einer höheren Anlagenleistung, geringeren Betriebskosten und einem sicheren Betrieb führt.

Die Integration von Assets in ein Softwaresystem wie AIN, auch als ein Asset Onboarding Prozess bezeichnet, ist jedoch keine triviale Aufgabe. Dies liegt an der Heterogenität der Assets und den unterschiedlichen Standards und Formaten, die bisher zur Modellierung der Asset-Daten verwendet werden.

Die VWS ermöglicht es unternehmensübergreifenden Business Netzwerken, unter Verwendung eines Standards zusammenzuarbeiten. Auf Basis dieser Zusammenarbeit kann der Hersteller einer Maschine Informationen zu dieser mit allen damit zusammenhängenden Dokumenten veröffentlichen. Solche Informationen können CAD-Zeichnungen, Installations- und Reparaturanleitungen, Ersatzteilübersichten und -verfügbarkeiten sowie andere Attribute umfassen. Der Lieferant kann über das System kollaborieren, indem er zum Beispiel Ersatzteilm Informationen oder andere Inhalte zur Verfügung stellt.

Onboarding von Assets mit dem SAP AAS-Service

Eine Möglichkeit zur Instanziierung einer Verwaltungsschale besteht darin, dass sie auf dem Asset selbst betrieben wird. Aufgrund fehlender Konnektivität oder Rechnerleistung besitzen nicht alle Assets diese Fähigkeit. Für diese Fälle ist es sinnvoll, die VWS und damit eine digitale Repräsentation cloudbasiert in einem VWS-Repository bereitzustellen.

Der SAP AAS-Service ist ein Open-Source-Projekt, das auf der VWS-Spezifikation basiert und den digitalen Zwilling für physische Assets darstellen kann. Der SAP AAS-Service stellt eine Referenzimplementierung der RAMI 4.0 Konzepte dar. Zu den wesentlichen Funktionen gehören standardisierte Kommunikationsschnittstellen für den Zugriff auf die Stammdaten eines Assets mittels der VWS. Der AAS-Service kann in der Cloud oder auf der Edge eingesetzt werden und bietet dazu eine geeignete Benutzeroberfläche.

Um die Prozesse zu modellieren, an denen ein

Asset teilnehmen kann, bietet der AAS-Service Komponenten, sogenannte Skills, an. Jedes Asset verfügt über ein bestimmtes Skill Set, abhängig von der Rolle, die die Komponente in verschiedenen Industrie 4.0-Interaktionen oder semantischen Protokollen spielen kann. Ein Skill wird einer Rolle in einem semantischen Protokoll zugeordnet und jedes semantische Protokoll arbeitet mit einem oder mehreren Teilmodellen. Ein Teilmodell kapselt domänenspezifische Aspekte eines Assets.

Integration mit OPC-UA

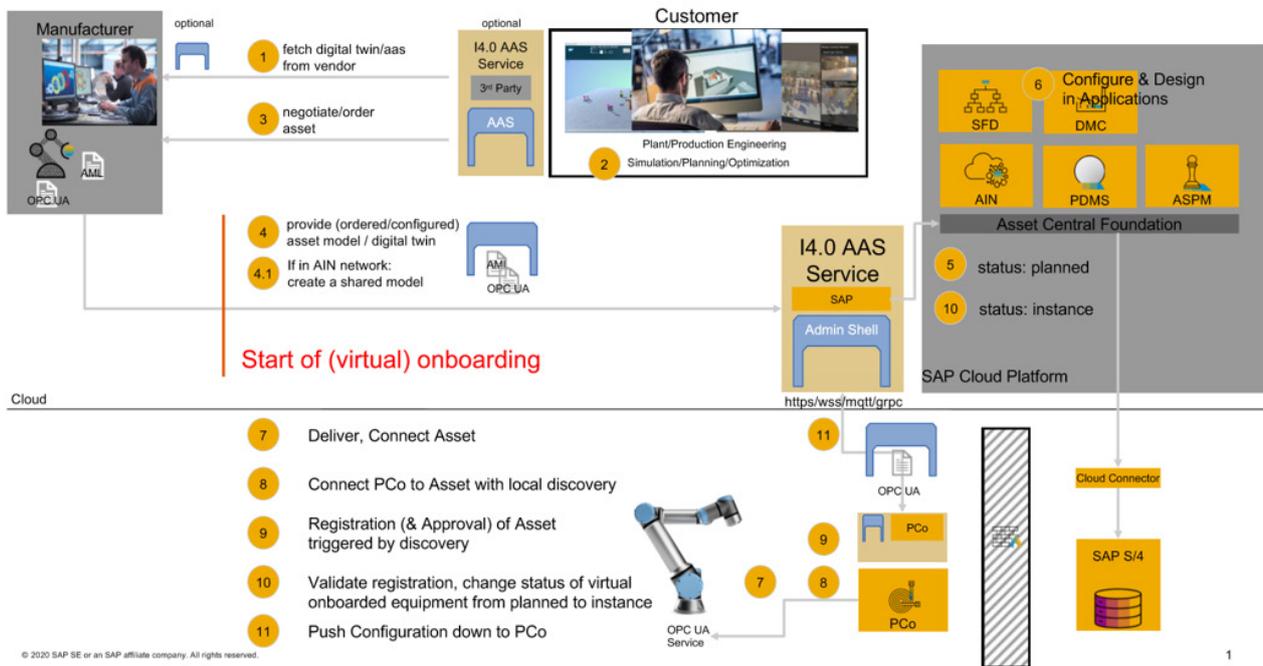
OPC-UA hat sich im Shopfloor für die Kommunikation zwischen Maschinen etabliert. Ein mithilfe von OPC-UA modelliertes Asset, z. B. auf Basis der Companion Spezifikation Part 100 Devices, kann problemlos als JSON-Nachricht im AAS-Format verschachtelt werden.²³

Im Rahmen des PRODISYS-Projekts wurde das Onboarding eines in einem OPC-UA Server registrierten Assets in ein Asset Management System wie SAP AIN unter Verwendung des AAS-Service bei einem Demonstrationssystem implementiert.

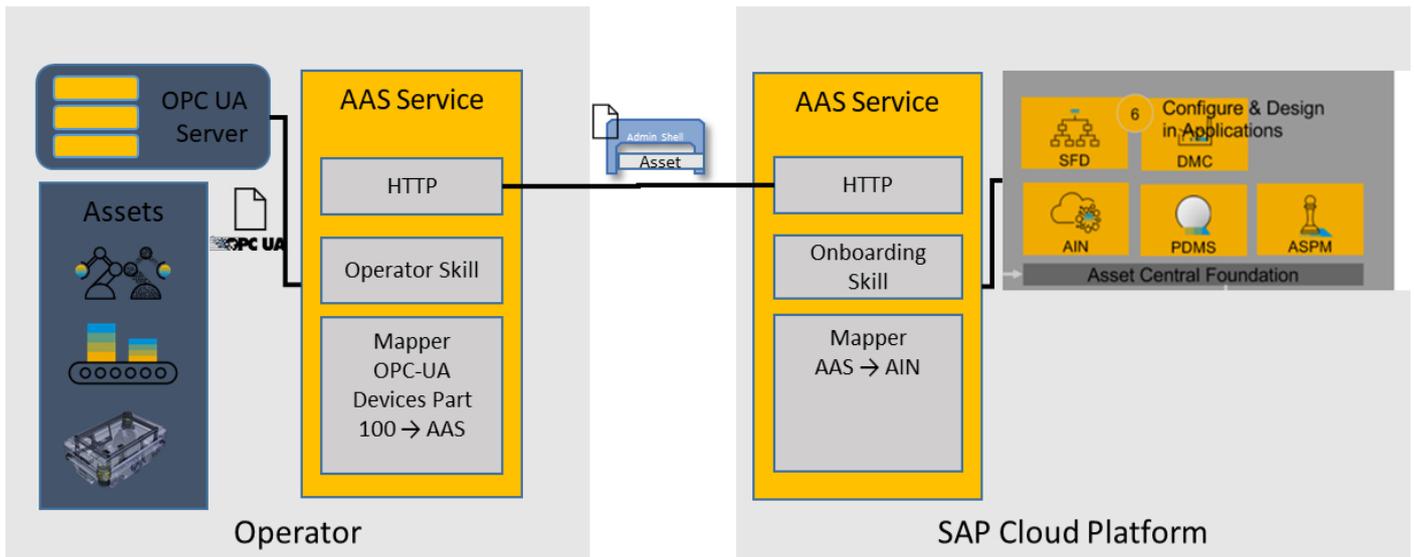
²³ Fuchs, J., Schmidt, J., Franke, J., Rehman, K., Karnouskos, S., & Sauer, M. (2019). I4.0-compliant integration of assets utilizing the Asset Administration Shell. 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). 10.-13. September, Saragossa, Spanien.

Der AAS-Service bietet eine Industrie 4.0-konforme API womit verschiedene AAS miteinander kommunizieren können. Der Anlagenbetreiber kann den Onboarding Skill, der

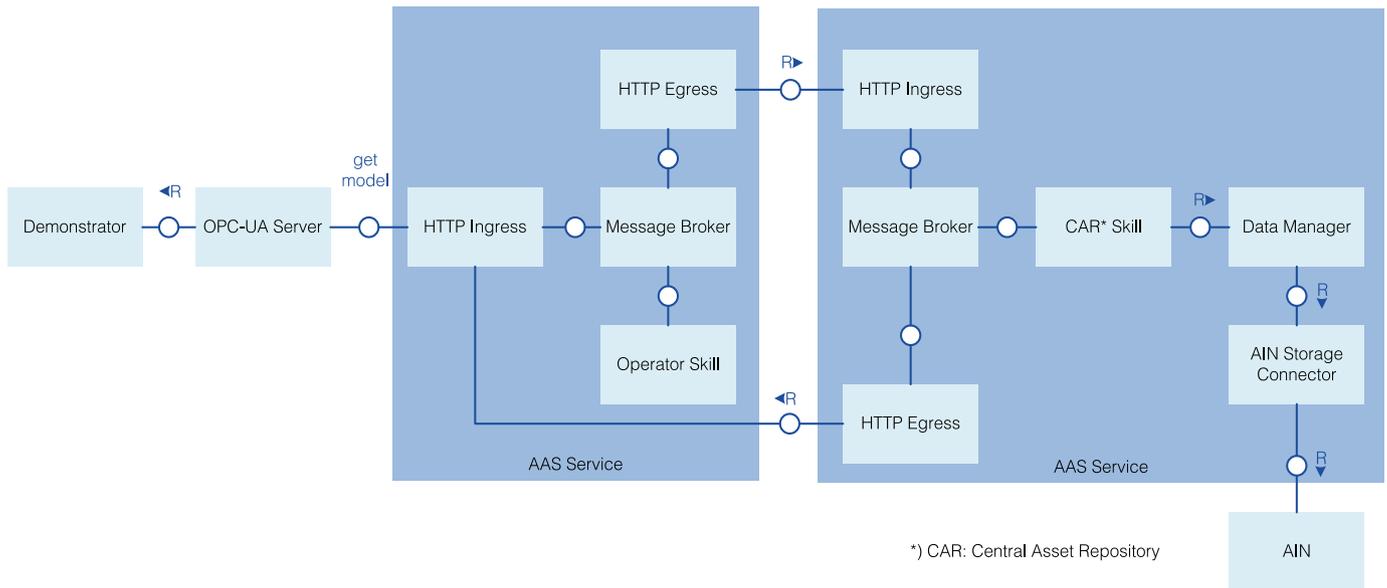
auf der SAP Cloud-Plattform läuft, aufrufen. Eine geeignete Schnittstelle bietet dann Zugriff auf das Asset-Management System.



Asset onboarding Prozess mit dem AAS-Service



Onboarding der Operator Assets mit dem AAS-Service



Architekturüberblick des Onboarding Szenarios

Condition Monitoring und Predictive Maintenance

In neuen Produktionsanlagen werden meist schon ausreichend Sensoren verbaut, um ein tiefgreifendes Condition Monitoring zu erlauben. Die Anlagenhersteller bieten hier meist eigene Condition Monitoring Lösungen an, die jedoch nur mit ihren eigenen Anlagen funktionieren und, je nach gewünschtem Funktionsumfang, sehr kostspielig sein können. Sollen aber auch ältere, schon bestehende Anlagen digital überwacht werden, ist dies, wenn überhaupt, nur mit großem Aufwand möglich. Dem Anlagenbetreiber fehlt hier oft die Fachkenntnis zur Anlage, um zu entscheiden, welche Sensoren an welcher Stelle gebraucht werden, um den Zustand adäquat erfassen zu können. Die nachträgliche Sensorintegration erfordert üblicherweise einen (minimal-)invasiven Eingriff in die bestehende Anlagenstruktur, was das Risiko weiter erhöht.

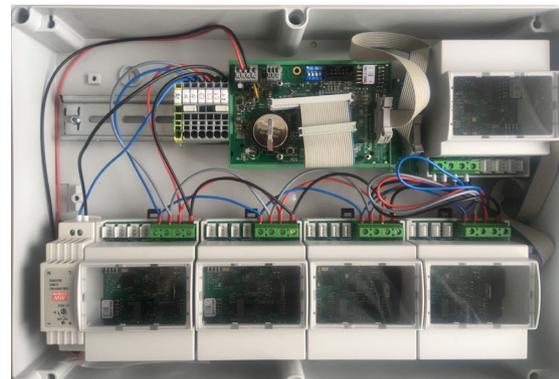
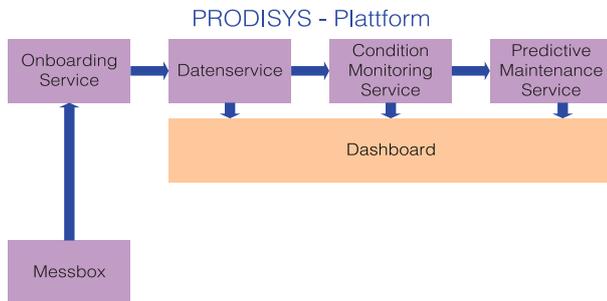
Im Gegensatz dazu haben wir im Rahmen des Projekts PRODISYS den Einsatz nicht-invasiver Sensorik zur Zustandserfassung an Anlagen

anhand deren Stromverbrauch pilotiert. Die zugrundeliegende Annahme ist, dass sich der Energieverbrauch einzelner Komponenten schon vor einem Fehler z. B. verschleißbedingt ändert und dies entsprechend auch gemessen werden kann.

Die verwendete Hardware basiert auf einem Raspberry Pi und Erweiterungsmodulen, um so eine variable Anzahl unterschiedlicher Verbrauchern messen zu können. Die Hardware ist industriekonform mit einem Gehäuse versehen, um beispielsweise auf der Hutschiene im Schaltschrank montiert werden zu können. So konnte die Installation zentral im Schaltschrank der Anlage realisiert werden, wobei lediglich sogenannte Hallsensoren zum Messen der Stromflüsse um die Leitungen der Anlage gelegt wurden. Diese Sensoren werden dabei lediglich um die Stromführenden Leitungen geklemmt und können nicht-invasiv installiert werden.

Die Messbox meldet sich über einen sogenannten Onboarding Service bei der PRODISYS Plattform an. Danach können einzelne Services für die Messbox komponiert werden. Ein grundlegender Service ist z. B. der Datenservice, der die Speicherung der Messwerte übernimmt. Basierend auf diesen Daten kann ein Condition Monitoring Service gestartet werden, der wiederum Input für einen Predictive Maintenance Service liefert. Alle

datenverarbeitenden Services können an eine Dashboardlösung angeschlossen werden. Die gesammelten Energiedaten wurden so zusammen mit den aufgenommenen Zustandsdaten der Anlage verwendet, um mithilfe maschineller Lernverfahren den Prozesszustand an der Anlage bestimmen zu können. Das Modell wurde im Betrieb regelmäßig nachtrainiert, wodurch vor allem häufig auftretende Fehler erfolgreich erkannt werden konnten.



Messbox zur Erfassung hochauflösender Energiedaten. Diese kommen in der Produktion der vitesco technologies GmbH zum Einsatz.

Geschäftsmodelle im Wandel - Ein Szenario für die vitesco technologies GmbH

Nachhaltige Mobilität zählt zu den Megatrends der Zukunft. Geschäftsmodelle der Automobil- und ihrer Zulieferindustrie müssen daher dynamischer und anpassungsfähiger denn je sein. Im Zukunftsszenario von der vitesco technologies GmbH fokussiert sich der Konzern in diesem Kontext noch stärker auf die nachhaltige und ressourceneffiziente Produktion. Ermöglicht wird dies durch die Erweiterung des Geschäftsmodells um innovative Treiber. Im Vordergrund stehen Condition Monitoring und Predictive Maintenance-Prozesse. Mit Hilfe der PRODISYS Plattform werden kontinuierlich Daten erfasst und ausgewertet. Dies umfasst vor allem Maschinenzustandsdaten, Auslastungs- und Effizienzkennwerte, aber auch Energiedaten. Durch vorausschauende

Wartungsmaßnahmen und die permanente Zustandsüberwachung kann mittels zielgerichteter Instandhaltung und effizienterer Produktionsplanung und -steuerung mit positiven Kosteneffekten gerechnet werden. Die generierten, gewonnenen Daten sind jedoch nicht nur für die Produktion bei der vitesco technologies GmbH einsetzbar. Angrenzende Bereiche wie das Facility Management können beispielsweise von der Energiedatenerfassung und -auswertung profitieren und Ressourcen effizienter steuern. Durch die Ausweitung der Datengewinnung entstehen somit spannende Potenziale. Aber nicht nur interne Bereiche können davon profitieren. Daten, die nicht die Wettbewerbsfähigkeit tangieren, stehen zur Veräußerung an externe Unternehmen bereit.

Positioniert sich die vitesco technologies GmbH frühzeitig und baut entsprechende Expertise auf, so kann das Unternehmen führend in der Beratung und Qualifizierung für externe sowie interne Partner und Bereiche werden. Denn, um den digitalen Wandel in der Branche zu bestreiten, werden die Kosten der Mitarbeiterweiterbildung und -qualifikation kurzfristig steigen. Aufgrund des frühzeitigen Wissensaufbaus innerhalb des Unternehmens kann hiervon profitiert werden, wenn die Erkenntnisse für andere Marktteilnehmer zur Verfügung gestellt werden.

Grundlage des Digitalisierungsprozesses ist vor allem die stabile IT-Infrastruktur, die vernetzte Produktion sowie die Schnittstellen

zu den Schlüsselpartnern. Komplexe Prozesse zwischen Schlüsselpartnern, wie die Wartung von Anlagen durch den Hersteller, sind dank Automatisierung und Plattformanbindung effizienter koordinierbar.

Durch die dynamische Ergänzung des bisherigen Geschäftsmodells kann vitesco technologies den positiven ökologischen und gesellschaftlichen Einfluss erhöhen und den Ansprüchen der Produktion der Zukunft gerecht werden.

Zukünftiges Geschäftsmodell vitesco technologies*

<p>Schlüsselpartner</p> <ul style="list-style-type: none"> · Material- und Rohstofflieferanten · Automobilindustrie · Vertriebsnetzwerk · Externe IT-Dienstleister · Forschungseinrichtungen und Universitäten* <p><small>* Zur Entwicklung neuer, innovativer Ansätze für Condition Monitoring/ Predictive Maintenance inklusive Algorithmenentwicklung, z. B. im Zuge von Forschungsvorhaben</small></p>	<p>Wertversprechen</p> <ul style="list-style-type: none"> · Umfassendes Know-How im Bereich Antriebstechnik für Fahrzeuge aller Art · Nachhaltige und effiziente Bewegung von Menschen, Gütern sowie Dienstleistungen · Klares Bekenntnis zur Reduktion von Emissionen · Vitesco Technologies macht Antriebsstränge sauber, effizient und erschwinglich 	<p>Schlüsselaktivitäten</p> <ul style="list-style-type: none"> · Forschung, Innovation, Entwicklung · Fertigungsprozess: <ul style="list-style-type: none"> · Antriebslösungen für die 48-Volt-Elektrifizierung · Elektromotoren · Leistungselektronik für hybridangetriebene und rein batterieelektrische Fahrzeuge · Elektronische Steuerungen, Sensoren und Aktuatoren · Qualitätsmanagement · Vertrieb · Marketing · Kontinuierliche Datenerfassung (Auswertung*) <p><small>*Auswertung erfolgt durch Maschinen- und Anlagenbauer (perspektivisch mittel- und langfristig mit Kompetenzaufbau durch vitesco möglich)</small></p>	<p>Kundenbeziehung</p> <ul style="list-style-type: none"> · Kunden erwarten innovative Lösungen zur Mobilität 2.0 · Kundenbeziehungen durch patentgesicherte Produkte · Langfristige Zusammenarbeit mit Großkunden · Qualitativ hochwertiges Datenmanagement · Simple Anbindung an Vitesco Systeme und Netzwerke durch Schnittstellen 	<p>Kundensegmente</p> <ul style="list-style-type: none"> · Kunden sind alle großen Automobilhersteller · Datenvertrieb an Mutter- und Geschwisterkonzerne, sowie externe Firmen
<p>Schlüsselressourcen</p> <ul style="list-style-type: none"> · Vertriebskanäle/ -Netzwerk · Partnerschaften/ Netzwerk · Geistiges Eigentum (Patente/ Know-How) · Mitarbeiter · Produktionsstätten · Stabile IT-Infrastruktur (vernetzte Produktion, sowie Schnittstellen zu Schlüsselpartnern) 		<p>Marktkanäle</p> <ul style="list-style-type: none"> · Direktabnahmen durch Großkunden · Werkstätten · Website · Showrooms · Vertriebsnetzwerk* <p><small>*Erweiterung durch IT-Salesforce</small></p>		
<p>Kosten</p> <ul style="list-style-type: none"> · Teile und Komponenten · Rohmaterial · Wartung (Kostenreduktion durch Zustandsüberwachung und vorausschauende Wartung zu erwarten) · Produktionsanlagen (Investition in Sensorik und Retrofit-Lösungen) · Forschung und Entwicklung · Mitarbeiter (Weiterbildung und Qualifizierung) · Externe Dienstleistungen 			<p>Einnahmen</p> <ul style="list-style-type: none"> · Produktverkauf · Lizenzierung · Pateneinnahmen · Verkauf von Datenpaketen/Datenbanken · Beratung/ Qualifizierung/ Weiterbildung 	
<p>Ökologischer und gesellschaftlicher Einfluss</p> <ul style="list-style-type: none"> · Ressourceneffizienteres Produzieren (weniger Ausschuss, Energieeinsparung, Optimierung des Ressourceneinsatz) aufgrund von Predictive Maintenance/ Condition Monitoring · Bereitstellung von Daten für Zwecke externer Marktteilnehmer · Aus-/Weiterbildung und Qualifizierung von Personal im Zeitalter der Digitalisierung 				

*(Szenario, Neuerungen in Grün)

Alternative Anwendungsszenarien

Viele Anlagen in der Produktion stellen ein hohes Investment bei der Anschaffung und im Betrieb dar. Einige von ihnen sind auch so wichtig, dass ein Ausfall einen weitreichenden Stillstand im Produktionsprozess bedeuten würde. Dieses wohl denkbar schlechteste Szenario sollte unbedingt vermieden werden. Durch die unkomplizierte Erweiterung durch nachgerüstete Sensorik zur Zustandsüberwachung und Anbindung an die Plattform, können sich anbahnende Wartungsmaßnahmen frühzeitig erkannt werden.

Laserschweißen

Beim Laserschweißverfahren wird ein Werkstoff von einem Laser auf Schmelztemperatur erhitzt. Laserschweißanlagen können über eine Vielzahl unterschiedlicher Sensoren verfügen. Als Beispiel seien Sensoren zur Fügwegüber-

wachung, Kalibrierung, Nahtlage- oder der Temperaturregelung genannt. Die Einschweißtiefe ist einer der wichtigsten Kennwerte zur Qualitätsüberwachung beim Laserschweißen. Durch die kontinuierliche Überprüfung der Einschweißtiefen lassen sich Rückschlüsse auf die Qualität ziehen. Stichprobenartige Auswertungen nach dem Prozess sind nicht mehr erforderlich. Bei regelmäßigen Abweichungen von Grenzwerten lassen sich bereits während des Prozesses Fehler erkennen und Instandhaltungsmaßnahmen einleiten.

Vakuumpumpen

Auch Vakuumpumpen können über eine Vielzahl von Sensoren zur Datenerfassung verfügen. Werden diese Daten über einen langen Zeitraum erhoben und analysiert, lassen sich Muster für verschiedene Kennwerte

erstellen. Entstehen im laufenden Prozess Anomalien, kann dies auf den Wartungsbedarf einer Maschine hinweisen. Vibrationssensoren beispielsweise messen die Schwingung einzelner Bauteile. Wichtige Anlagenbestandteile wie das Gehäuse, Pumpelemente oder der Antrieb können überwacht werden. Durch die Ermittlung einer Soll-Temperatur mit Stan-

dardabweichungen kann berechnet werden, wann Wartungsmaßnahmen erforderlich sind. Somit kann stellenweise auch die teilweise noch vorherrschende doppelte Installation von Vakuumpumpen an der Produktionsanlage zur Absicherung der Prozessstabilität vermieden werden.

Strukturen konzipieren – Betriebswirtschaftliche Handlungsempfehlungen

Unternehmen stehen zukünftig vor großen Herausforderungen. Um auch in Zukunft im internationalen Wettbewerb bestehen zu können, müssen Geschäftsmodelle kontinuierlich überdacht und validiert und erweitert werden. Die dynamische Anpassung an aktuelle Problemstellungen wird wichtiger denn je. Um den wachsenden Anforderungen an Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

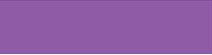
gewachsen zu sein, müssen Potenziale früh erkannt und Investitionen getätigt werden.

Die Weiterbildung und Qualifizierung von Personal, die Inanspruchnahme von externen IT-Dienstleistern und -Beratungen, sowie die Investition in die Infrastruktur sind Grundvoraussetzungen, um in Zukunft erfolgreich zu sein.

Infrastruktur schaffen – Informationstechnische Handlungsempfehlungen

Die Grundvoraussetzung für eine wettbewerbsfähige Produktion ist die Investition in eine solide IT-Infrastruktur. IT-Manager sollten daher prüfen, wie zukunftsfähig die aktuellen Ressourcen sind, um Produktionsanlagen besser zu vernetzen sowie kontinuierlich Daten zu generieren, zu speichern und zu analysieren. Plattformen wie PRODISYS ermöglichen

die simple Anbindung an Plattformökosysteme und die Vernetzung zwischen Schlüsselpartnern. Investitionen in Sensorik und Retrofit-Lösungen sowie IT-Dienstleistungen können durch langfristige Einsparungen aufgrund von Zustandsüberwachungen und vorausschauender Wartung amortisiert werden.



Fertigung vernetzen – Produktionsbezogene Handlungsempfehlungen

Werden die Potenziale der digitalen Transformation erkannt, so kann die Produktion zukünftig erheblich effizienter, nachhaltiger und ressourcenschonender gestaltet werden. Die permanente Zustandsüberwachung sollte frühzeitig implementiert werden, da sie Grundlage der zukünftigen Produktion ist. Condition Monitoring und Predictive Maintenance-Prozesse ermöglichen die effiziente Steuerung von Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen

und können Ausfallzeiten in der Produktion minimieren. Produktionsleiter sollten die Möglichkeiten der vernetzten Produktion voll ausschöpfen, indem sie sich Kennzahlen sowie intelligente Produktions- und Logistiksteuerung zunutze machen. Dabei sollten auch frühzeitig sinnvolle und potenziell effizienzsteigernde Vernetzungsmöglichkeiten mit Zulieferern und Partnern eruiert und geplant werden.

Projektbezogene Veröffentlichungen

- Fuchs, J., Herrmann, H., Oks, S. J., Sjarov, M., & Franke, J. (2021). Increasing Efficiency in Maintenance Processes Through Modular Service Bundles. In: Behrens, B.-A., Brosius, A., Hintze, W., Ihlenfeldt, S., & Wulfsberg, J. P. (Hrsg.), *Production at the leading edge of technology*, Proceedings of the 10th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP). 23.-24. September 2020, Dresden, Deutschland, S. 439-447. Berlin, Heidelberg, Deutschland: Springer.
- Fuchs, J., Schneider, R., & Oks, S. J. (2021). Service-based integration of modular control components in discrete manufacturing platforms. 19th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN). 21.-23. Juli, Palma de Mallorca, Spanien.
- Mosig, T., Lehmann, C., & Neyer, A.-K. (2021). Data-driven business model innovation: About barriers and new perspectives. *International Journal of and Technology Management*. 18(2), S. 1-32.
- Mosig, T., Mosleh, W. S., & Lehmann, C. (2021). Designing Smart Cities: A Participatory Approach to Business Model Teaching. *Journal of Business Models* (unter Vorbehalt akzeptiert).
- Oks, S. J., Jalowski, M., Zansinger, N., & Möslin, K. M. (2021). Die Rolle von Industrie 4.0-Demonstratoren in der digitalen Transformation – Eine Standpunktbestimmung am Portable Industrial Demonstrator for Cyber-Physical Systems (PID4CPS). In: Wilbers, K. & Windelband, L. (Hrsg.), *Lernfabriken an beruflichen Schulen - Gewerblich-technische und kaufmännische Perspektiven*. S. 119-157. Berlin, Deutschland: Epubli.
- Oks, S. J., Zöllner, S., Jalowski, M., Fuchs, J., & Möslin, K. M. (2021). Embedded vision device integration via OPC UA: Design and evaluation of a neural network-based monito-

ring system for Industry 4.0. *Procedia CIRP*. 100(4), S. 43-48.

Fuchs, J., Hartner, F., Brossog, M., & Franke, J. (2019). Auswahl industrieller Serviceplattformen – Methodisches Vorgehen zur Auswahl geeigneter cloudbasierter IIoT-Plattformlösungen. *wt Werkstattstechnik – Online*. 109(7-8), S. 537-542.

Fuchs, J., Oks, S. J., & Franke, J. (2019). Platform-based service composition for manufacturing: A conceptualization. *Procedia CIRP*. 81, S. 541-546.

Fuchs, J., Schmidt, J., Franke, J., Rehman, K., Karnouskos, S., & Sauer, M. (2019). I4.0-compliant integration of assets utilizing the Asset Administration Shell. 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). 10.-13. September, Saragossa, Spanien.

Mosig, T. & Lehmann, C. (2019). My Data – My Precious: Tearing Down Barriers to Data-Driven Business Model Innovation. 19th annual conference of the European Academy of Management (EURAM). 26.-28. Juni, Lissabon, Portugal.

Oks, S. J., Jalowski, M., Fritzsche, A., & Möslin, K. M. (2019). Cyber-physical modeling and simulation: A reference architecture for designing demonstrators for industrial cyber-physical systems. *Procedia CIRP*. 84, S. 257-264.

Fritzsche, A. (2018). Implications of Agile Manufacturing in the Automotive Industry for Order Management in the Factories - Evidence from the Practitioner's Perspective. *Procedia CIRP*. 72, S. 369-374.

Mosig, T. & Velamuri, V. (2018). Data-Driven Business Model Innovation: Datatization of

the Manufacturing Industry. R&D Management Conference (RADMA). 30. Juni – 4. Juli, Mailand, Italien.

Oks, S. J. & Fritzsche, A. (2018). More than New Technical Devices: A Semiotic Look at the Digital Transformation of Industry. fPET. 30. Mai – 1. Juni, Washington D.C., USA.

Oks, S. J., Fritzsche, A., & Möslein, K. M. (2018). Design and Evaluation of a Portable Industrial Demonstrator for Cyber-Physical Systems. DESRIST Conference Proceedings. 3.-6. Juni, Chennai, Indien.

Oks, S. J., Fritzsche, A., & Möslein, K. M. (2018). Engineering Industrial Cyber-Physical Systems: An Application Map Based Method. Procedia CIRP. 72, S. 456-461.

Oks, S. J., Fritzsche, A., & Möslein, K. M. (2018). Industrial Cyber-Physical Systems from a Stakeholder Perspective. R&D Manage-

ment Conference (RADMA). 30. Juni – 4. Juli, Mailand, Italien.

Reidt, A., Pfaff, M., & Krcmar, H. (2018). Der Referenzarchitekturbegriff im Wandel der Zeit. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik. 55(5), S. 893-906.

Reidt, A., Schuhbäck, S., & Krcmar, H. (2018). Comprehensive View on Architectural Requirements for Maintenance Information Systems. In: Proceedings of the 13th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering (ENASE). S. 249–257, Madeira, Portugal: SCITEPRESS – Science and Technology Publications.



Danksagung

Die Projektpartner möchten sich bei allen Personen und Institutionen bedanken, die zu der erfolgreichen Durchführung des Forschungsprojektes PRODISYS beigetragen haben.

Unser besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie dem Projektträger Karlsruhe (PTKA) für die Förderung und Betreuung während der Projektlaufzeit.

Impressum

Herausgeber

fortiss GmbH
Landesforschungsinstitut des Freistaats
Bayern für softwareintensive Systeme
Guerickestr. 25
80805 München
Tel: +49 89 3603522 0
E-Mail: info@fortiss.org
www.fortiss.org

Gestaltung Anna S. Rodewald

Bildnachweis: Titelbild © PopTika/shutterstock
Bild S.4 © PopTika/shutterstock

Hinweis: Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

Änderungen und Irrtümer vorbehalten.

