

ERGEBNISPAPIER



**Fortschreibung der Anwendungsszenarien
der Plattform Industrie 4.0**

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Wirtschaft
und Energie (BMWi)
Öffentlichkeitsarbeit
11019 Berlin
www.bmwi.de

Redaktionelle Verantwortung

Plattform Industrie 4.0
Bertolt-Brecht-Platz 3
10117 Berlin

Gestaltung und Produktion

PRpetuum GmbH, München

Stand

Oktober 2016

Bildnachweis

red150770 – Fotolia (Titel), Mimi Potter – Fotolia (S. 3, 15),
Stillfx – Fotolia (S. 7), Konstantin Yuganov – Fotolia (S. 8), vallepu
– Fotolia (S. 21), IPGGutenbergUKLtd – iStockphoto (S. 24),
Image Source – Fotolia (S. 25), Rawpixel.com – Fotolia (S. 28),
fotohansel – Fotolia (S. 31)

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des
Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.
Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum
Verkauf bestimmt. Nicht zulässig ist die Verteilung
auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen
der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder
Aufkleben von Informationen oder Werbemitteln.



Das Bundesministerium für Wirtschaft und
Energie ist mit dem audit berufundfamilie®
für seine familienfreundliche Personalpolitik
ausgezeichnet worden. Das Zertifikat wird von
der berufundfamilie gGmbH, einer Initiative
der Gemeinnützigen Hertie-Stiftung, verliehen.



Diese und weitere Broschüren erhalten Sie bei:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Referat Öffentlichkeitsarbeit
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
www.bmwi.de

Zentraler Bestellservice:
Telefon: 030 182722721
Bestellfax: 030 18102722721



Inhalt

Mission	3
Was sind Anwendungsszenarien?	4
Übersicht über die Anwendungsszenarien	5
Kurzfassung der Anwendungsszenarien	8
Auftragsgesteuerte Produktion (AGP)	8
Wandlungsfähige Fabrik (WFF).....	9
Selbstorganisierende adaptive Logistik (SAL)	12
Value Based Services (VBS).....	14
Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte (TWP).....	16
Mensch-Technik-Interaktion in der Produktion (MTI).....	18
Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion (SP2).....	20
Innovative Produktentwicklung (IPE).....	22
Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen (DDA).....	24
Kreislaufwirtschaft (KRW).....	27
Welche Themen der Forschungsroadmap haben eine besonders hohe Relevanz für die Umsetzung der Anwendungsszenarien?	29
Beschreibung der Forschungsroadmap	29
Welcher Bezug besteht zwischen den Anwendungsszenarien und der Forschungsroadmap?.....	30
Welche Forschungsthemen müssen zur Umsetzung der Anwendungsszenarien vorrangig angegangen werden?.....	31
Welche Bezüge bestehen zwischen den Anwendungsszenarien und anderen „Use Cases“?	32
Plattform Industrie 4.0, Smart Service Welt und Industrial Internet Consortium	32
Industrie 4.0 Use Cases	39
Anhang: Langfassungen der Anwendungsszenarien	44
Referenzen	44
Autoren	45



Mission

Die Kenntnis der Markttrends in der produzierenden Industrie, das technische Verständnis der realen Welt und die Möglichkeit, beides der virtuellen Welt zugänglich zu machen, aber auch die Erfahrungen aus konkreten Umsetzungsbeispielen sind eine einzigartige Basis, um aufzuzeigen, wie durch Nutzung der Möglichkeiten der Digitalisierung neue Wege in der produzierenden Industrie gegangen werden können.

Um solche Wege anschaulich zu beschreiben, formuliert die AG2 der Plattform Industrie 4.0 **Anwendungsszenarien**. Die Anwendungsszenarien beschreiben die Vision der deutschen Industrie von ihrer digitalen Zukunft. Sie zeigen, mit welchen Innovationen in Technologie, Arbeitsorganisation, Recht und Gesellschaft die deutsche Industrie in diese digitale Zukunft gehen will. Die Anwendungsszenarien zeigen aber auch auf, wo zentrale Herausforderungen und Fragen beispielsweise in den Bereichen Standards, Forschung, Sicherheit, rechtlicher Rahmen und Arbeit liegen, und geben so einen gemeinsamen Rahmen für die Arbeiten in den Arbeitsgruppen der Plattform Industrie 4.0 vor.

So ergibt sich ein systematisches Bild der Gestaltung von Industrie 4.0. Aus den Anwendungsszenarien heraus leiten sich **Handlungsempfehlungen** an Politik und Unternehmen sowie **zentrale Fragestellungen** ab. Dieses Zukunftsbild wird ständig mit allen entscheidenden Akteuren diskutiert und verfeinert. So entsteht eine Roadmap, wo und wie schon heutige Entwicklungen in Form von Anwendungsbeispielen auf die Umsetzung der Anwendungsszenarien einzahlen und so erste Umsetzungsschritte in den Industrieunternehmen hin zu einer Verwirklichung der entwickelten Vision illustrieren.

Das vorliegende Arbeitspapier beschreibt die bisher entwickelten Anwendungsszenarien, ordnet diese in ein Gesamtbild ein und spiegelt sie an der Forschungsroadmap, die zur Hannover Messe Industrie 2015 veröffentlicht wurde. Es handelt sich um eine Fortschreibung des zur Hannover Messe Industrie 2016 veröffentlichten Arbeitspapiers der AG2 der Plattform Industrie 4.0, siehe [1].

Was sind Anwendungsszenarien?

Industrie 4.0 ist ein vielschichtiges, komplexes Thema und muss die Perspektiven unterschiedlicher Interessengruppen berücksichtigen. Eine wichtige Zielgruppe sind hier die Anwender oder Nutzer von Industrie 4.0. Bei dieser Zielgruppe besteht insbesondere die Herausforderung, den Nutzen von Industrie 4.0 transparent zu machen.

Ein zentrales Anliegen der Plattform Industrie 4.0 ist die Fokussierung auf die praktische Umsetzung. Aus diesem Grund verfolgt die Plattform Industrie 4.0 einen „Use Case“-basierten Ansatz: Einem Anwender wird eine Auswahl von „Use Cases“ zur Verfügung gestellt, aus denen er die für sich passenden und relevanten „Use Cases“ selektieren kann.

Nun spielt der Begriff des „Use Case“ für verschiedene Aktivitäten der Plattform Industrie 4.0 eine zentrale Rolle, beispielsweise:

- Die Präsentation von „Use Cases“ auf einer Landkarte, die den Nutzen von Industrie 4.0 für die Industrieunternehmen (in Deutschland) transparent und kommunizierbar machen.
- Der Aufbau von Testbeds, in denen Unternehmen und deren Kooperationspartner „Use Cases“ exemplarisch und vorwettbewerblich ausprobieren und evaluieren können.
- Die konzeptionelle und inhaltliche Arbeit in den Arbeitsgruppen, die „Use Cases“ nutzen, anhand derer Entscheidungen, Regelungsbedarf oder Forschungsbedarf visualisiert und abstrahiert werden können.

Aufgrund der vielfältigen Aktivitäten und unterschiedlichen Zielsetzungen der verschiedenen Aktivitäten waren ein Rahmen und eine Nomenklatur notwendig, die es erlaubten, die verschiedenen „Use Case“-Begrifflichkeiten sauber gegeneinander abzugrenzen und einzuordnen und gleichzeitig das Zusammenspiel der verschiedenen Aktivitäten zu illustrieren.

Als Ergebnis der Diskussion wurde eine übergeordnete zweidimensionale Strukturierung entwickelt:

Es wurde einerseits getrennt zwischen der Beschreibung eines Problems und der Beschreibung einer Lösung:

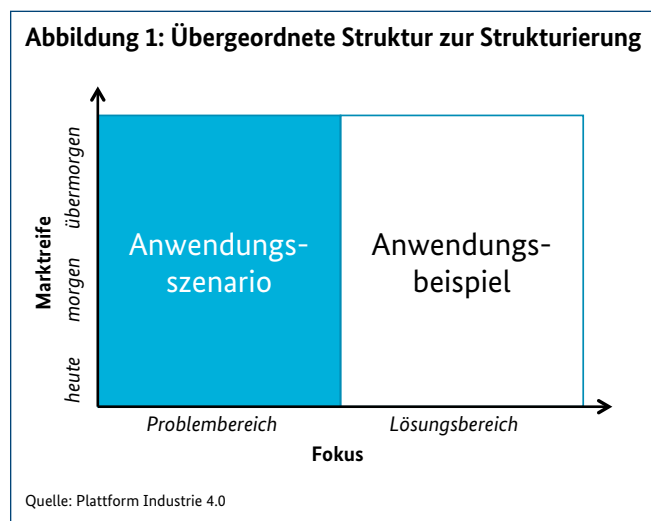
- **Anwendungsszenarien** sind eine generische allgemeine Beschreibung eines Problems bzw. einer Herausforderung eines Anwenders (Leitmarkt). Es umreißt den geschäftlichen Rahmen, insbesondere in Form des

Wertschöpfungsnetzes und der Business „pain points“. Die AG2 der Plattform Industrie 4.0 versteht den Begriff Anwendungsszenario in diesem Sinne.

- **Anwendungsbeispiele** sind die Beschreibung einer möglichen Lösung. Sie beinhalten eine konkrete Umsetzung für einen Anwender (Leitmarkt). In der Regel sind bei einer Umsetzung auch Anbieter (Leitanbieter) involviert, wobei der Anbieter ggf. auch die Forschung sein kann. Typischerweise nimmt ein Anwendungsbeispiel Bezug auf eine Beschreibung im Problembereich. Die Landkarte Industrie 4.0, siehe [2], zeigt Praxisbeispiele in diesem Sinne.

Andererseits wurde die Dimension des Zeithorizonts bzw. der Marktreife eingeführt. Die AG2 der Plattform Industrie 4.0 beschäftigt sich primär mit Zukunftsthemen und formuliert deshalb lediglich Anwendungsszenarien für die Zeithorizonte „morgen“ und „übermorgen“. Sie beschreibt damit entweder ein heutiges Problem aus Sicht einer Anwendergruppe im Umfeld der produzierenden Industrie, dessen Lösbarkeit mittels ausgewählter digitaler Technologien illustriert werden soll (morgen), oder beschreibt in Form einer Vision ein denkbare Szenario aus Sicht von Anwendergruppen, die ein mögliches Zukunftsbild im Umfeld der produzierenden Industrie skizziert (übermorgen).

In der Regel wird es zu einem Anwendungsszenario mehrere Anwendungsbeispiele geben, die es (ggf. teilweise) umsetzen. Umgekehrt wird in der Regel ein Anwendungsbeispiel bestimmte Aspekte mehrerer Anwendungsszenarien umsetzen.



Übersicht über die Anwendungsszenarien

Industrie 4.0 bezeichnet eine neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten und postuliert, dass diese neue Stufe mit den Mitteln der Digitalisierung erreicht werden kann, siehe [3]. Deshalb ist es wichtig, ein gemeinsames Verständnis von den Kern-Wertschöpfungsprozessen produzierender Unternehmen zu entwickeln. Hierzu gibt es verschiedene Ansätze, die sich aber weitestgehend aufeinander abbilden lassen. Die AG2 der Plattform Industrie 4.0 hat hierzu die Ergebnisse des Fachausschusses 7.21 der VDI/VDE-GMA zugrunde gelegt, da dieser Fachausschuss die Wertschöpfungsprozesse prägnant und in sich verständlich dokumentiert hat, siehe [4].

Für produzierende Unternehmen sind aus technischer Sicht vier Wertschöpfungsprozesse von zentraler Bedeutung:

- **Product Lifecycle Management (PLM):** Hierbei handelt es sich um die Entwicklung des Produkttyps (vergleiche Life Cycle & Value Stream Achse im Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0, siehe [5]). Betrachtet wird der vollständige Lebenszyklus von der Idee und den Anforderungen über die Entwicklung bis hin zum Recycling. Wenn man von Aktivitäten wie dem Bau von
- **Production System Lifecycle Management (PSLM):** Produzierende Unternehmen stellen physische Produkte her, die mit Hilfe eines Produktionssystems (Fabrik, Anlage) erzeugt oder produziert werden. Beim Production System Lifecycle Management wird der vollständige Lebenszyklus des Produktionssystems von Konzept, Engineering, Errichtung und Inbetriebnahme über Betrieb und Wartung bis hin zum Rückbau betrachtet. Dies beinhaltet Wertschöpfung in der virtuellen Welt wie Konzepterstellung, Engineering oder Wartungsplanung, die in der Darstellung blau dargestellt sind, aber auch Wertschöpfung in der realen Welt wie Errichtung, Wartungsdurchführung oder Rückbau, die in der Darstellung orange dargestellt sind.
- **Supply Chain Management (SCM):** Hierunter fallen alle auftragsbezogenen Wertschöpfungsprozesse und beinhalten die Auftragsplanung, Auftragssteuerung, die vollständige Logistik und das Management der Zulieferer. In der Darstellung sind diese Aktivitäten grün dargestellt.

Abbildung 2: Wertschöpfungsprozesse produzierender Unternehmen

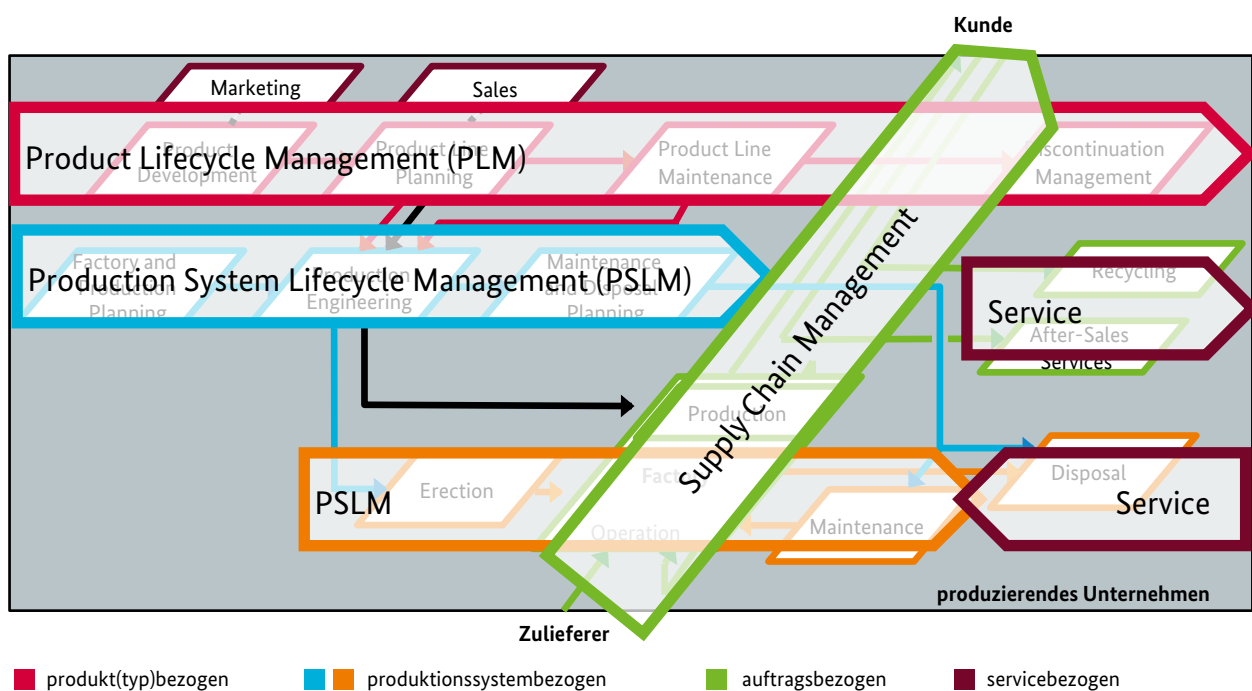
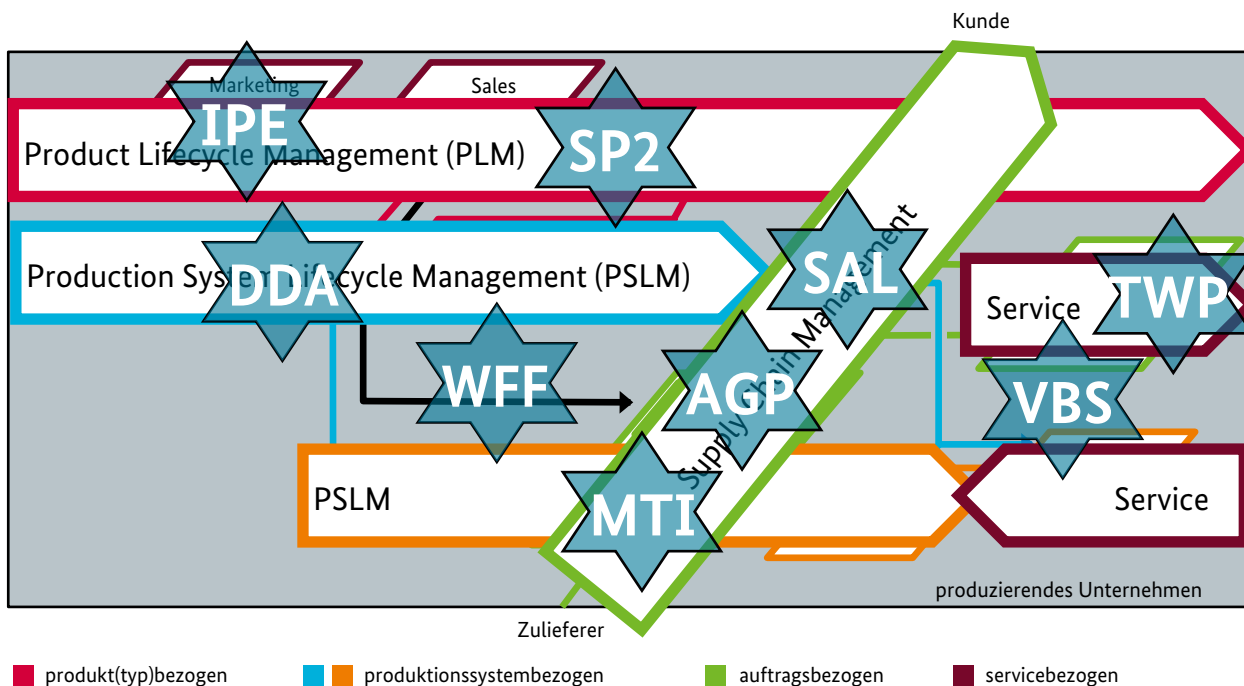


Abbildung 3: Übersicht über die Anwendungsszenarien



- **Service:** Dies beinhaltet einerseits die Wertschöpfungsprozesse nach Auslieferung des Produkts (produktbezogene Dienstleistungen wie beispielsweise Ersatzteillieferung oder Software-Updates, aber auch Web-basierte Dienstleistungen wie Verfügbarkeitsgarantien bis hin zu „as-a-service“ Geschäftsmodellen) und andererseits produktionssystembezogene Dienstleistungen wie beispielsweise die Optimierung eines Produktionssystems. In der Darstellung sind diese Aktivitäten violett dargestellt.

Die AG2 der Plattform Industrie 4.0 hat das Bild der Wertschöpfungsprozesse produzierender Unternehmen genutzt, um hierin die verschiedenen Anwendungsszenarien einzuordnen. Dies hat geholfen, eine erste „Vollständigkeit“ und damit Repräsentanz der Anwendungsszenarien zu postulieren.

Im Folgenden wird der Kern der einzelnen Anwendungsszenarien skizziert einschließlich einer Abgrenzung der Anwendungsszenarien untereinander:

- **Auftragsgesteuerte Produktion (AGP):** Dieses Anwendungsszenario stellt den Auftrag in den Mittelpunkt und beschreibt, wie die notwendigen Produktionsressourcen

dynamisch für einen Auftrag zusammengestellt werden. Es basiert auf Arbeiten des Fachausschusses GMA 6.12, siehe [6].

- **Wandlungsfähige Fabrik (WFF):** Dieses Anwendungsszenario stellt eine Produktionsressource – in Abgrenzung zum Anwendungsszenario AGP, wo der Auftrag im Fokus steht – in den Mittelpunkt und beschreibt, wie diese im Hinblick auf Wandlungsfähigkeit gestaltet werden kann und welche Konsequenzen dies für den Lieferanten der Produktionsressource sowie den Systemintegrator hat.
- **Selbstorganisierende adaptive Logistik (SAL):** Dieses Anwendungsszenario ist eng verknüpft mit dem Anwendungsszenario AGP, fokussiert dabei aber auf die gesamte Inter- und Intra-Logistik.
- **Value Based Services (VBS):** Dieses Anwendungsszenario beschreibt, wie sich das Wertschöpfungsnetz im Service gestalten lässt, wenn entsprechende Produkt- und/oder Prozess-Informationen über eine IT-Plattform zur Verfügung gestellt werden. Es greift die Ergebnisse des Zukunftsprojekts „Smart Service Welt“ auf, siehe [7].

- **Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte (TWP):** Dieses Anwendungsszenario stellt ein Produkt – in Abgrenzung zum Anwendungsszenario VBS, wo das Wertschöpfungsnetz im Fokus steht – in den Mittelpunkt und beschreibt, wie Transparenz und Wandlungsfähigkeit von ausgelieferten Produkten über eine IT-Plattform gestaltet werden können.
- **Mensch-Technik-Interaktion in der Produktion (MTI):** Dieses Anwendungsszenario beschreibt, wie zukünftig ein Operator in der Produktion durch neue Technologien unterstützt werden kann.
- **Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion (SP2):** Dieses Anwendungsszenario beschreibt kollaboratives Produkt-Engineering, um ausgehend von den Produktanforderungen den Engineering-Prozess durchgängig zu gestalten und die notwendigen Informationen der Produktion und dem Service zur Verfügung zu stellen. Wesentliche Grundideen basieren auf dem Forschungsprojekt AWaPro „Automation für wandlungsfähige Produktionstechnik“ im Spitzencluster it's OWL und dem Testbed „Smart Engineering and Production 4.0“, siehe [8].
- **Innovative Produktentwicklung (IPE):** Dieses Anwendungsszenario beschreibt neue Methoden und Prozesse bei der Produktentwicklung und fokussiert dabei auf die frühen Phasen der Produktentwicklung.
- **Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen (DDA):** Dieses Anwendungsszenario beschreibt, dass in einem initialen Engineering-Prozess zur Errichtung einer Anlage ein integrierendes Anlagenmodell entsteht, das dann über den Lebensweg der realisierten Anlage in permanent ineinandergreifenden Vorgängen zwischen Engineering, Betrieb und Service der Anlage gepflegt und konsistent gehalten wird. Es wurde vom Fachausschuss GMA 6.12 erstellt, siehe [9], und der AG2 der Plattform Industrie 4.0 zur Verfügung gestellt.
- **Kreislaufwirtschaft (KRW):** Dieses Anwendungsszenario betrachtet ein (ausgeliefertes) Produkt bis hin zur Rückführung seiner physischen Bestandteile in einen übergeordneten Wertstoffkreislauf. In Übereinstimmung mit dem wissenschaftlichen Beirat der Plattform Industrie 4.0 wurde beschlossen, dieses Anwendungsszenario nicht weiterzuverfolgen. Es ist deshalb in Abbildung 3 nicht gezeigt, eine Kurzfassung findet man allerdings im nächsten Kapitel.
- **Additive Manufacturing (ADM):** Die Beschreibung dieses Anwendungsszenario ist geplant, liegt aber noch nicht vor. Deshalb ist es in Abbildung 3 nicht gezeigt.





Kurzfassung der Anwendungsszenarien

Auftragsgesteuerte Produktion (AGP)

Autonome und automatisierte Vernetzung von Produktionsfähigkeiten über die eigenen Fabrikgrenzen hinaus zur Optimierung des Portfolios im Hinblick auf Kunden- und Marktanforderungen.

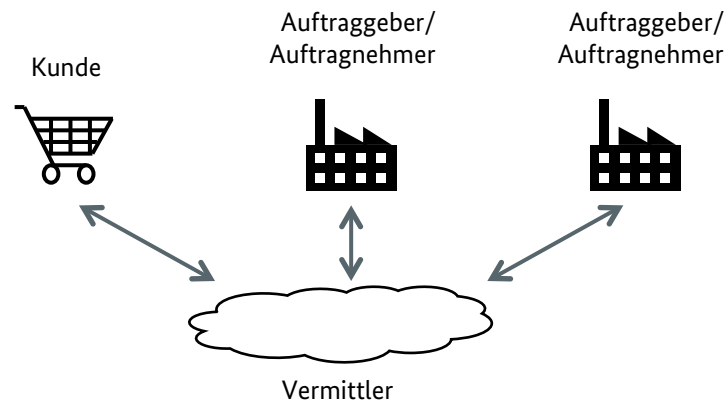
Viele Produkte unserer Zeit verändern sich immer schneller. War das Displayglas eines Smartphones gestern noch eben, gibt es heute bereits erste gebogene Displays. Auch im Automobilbau wächst das Spektrum der eingesetzten Materialien stetig, von Aluminium über hochfeste Stähle bis zu faserverstärkten Kunststoffen kommt heute eine Vielzahl unterschiedlicher Materialien zum Einsatz.

Immer kürzer werdende Innovations- und Produktzyklen sowie die Verfügbarkeit neuer Produktionstechnologien zwingen produzierenden Unternehmen immer kürzere Reaktionszeiten und schnellere Investitionsentscheidungen auf – und das sowohl bei Konsum- als auch bei Investitionsgütern. Um diesem Trend zu begegnen und langwierige Investitionsentscheidungen zu umgehen, beginnen Unternehmen, ihre Produktionsfähigkeiten über Unternehmensgrenzen hinweg immer stärker zu vernetzen.

Inhaltlicher Fokus

Das Anwendungsszenario „Auftragsgesteuerte Produktion“ beschreibt eine flexible Fertigungskonfiguration. Dank einer werks- und unternehmensübergreifenden Vernetzung von Produktionsfähigkeiten und Kapazitäten kann sie sich schnell an verändernde Markt- und Auftragsbedingungen anpassen und die Fähigkeiten und Kapazitäten bestehender Produktionsmittel bestmöglich ausnutzen. So wird das Potential der Vernetzung mit anderen Fabriken über die Grenzen des eigenen Werks hinaus dazu genutzt, das eigene Portfolio und insbesondere die Produktion im Hinblick auf die sich immer rascher ändernden Kunden- beziehungsweise Marktanforderungen auszurichten. Konkret werden die Fertigungsketten mit Blick auf unterschiedliche Parameter wie etwa Kosten und Zeit optimiert.

Im Kern beruht die Auftragsgesteuerte Produktion auf einer Standardisierung der einzelnen Prozessschritte einerseits und der Selbstbeschreibung von Fähigkeiten der Produktionsmittel andererseits. Diese Standardisierung erlaubt die automatisierte Auftragsplanung, -vergabe und -steuerung zur Einbindung aller benötigten Fertigungsschritte und Produktionsmittel. Einzelne Prozessmodule können so wesentlich flexibler als früher miteinander kombiniert und ihre spezifischen Fähigkeiten genutzt werden.

Abbildung 4: Wertschöpfungsnetz „Auftragsgesteuerte Produktion“

Quelle: Plattform Industrie 4.0

Dazu bieten Unternehmen freie Fertigungskapazitäten an und steigern auf diese Weise die Auslastung des eigenen Maschinenparks. Bei Bedarf greifen andere Unternehmen auf die angebotenen Kapazitäten zu und erweitern so temporär das eigene Fertigungsspektrum. Bestehende Produktionskapazitäten werden so besser ausgelastet und Auftragschwankungen ausgeglichen. Ziel ist es, die Einbindung von externen Fabriken in den Produktionsablauf möglichst selbstständig ablaufen zu lassen. Insbesondere soll die dazu notwendige Auftragsvergabe weitgehend automatisiert durchgeführt werden.

Auswirkung auf Wertschöpfungsketten

Die heute vergleichsweise starren, individuell ausgehandelten Beziehungen von Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette verwandeln sich in ein stark fragmentiertes, dynamisches und sich teilweise je Auftrag änderndes Wertschöpfungsnetzwerk. Dies gilt sowohl horizontal über den Herstellungsprozess als auch vertikal bezüglich der Fertigungstiefe. Produzierende Unternehmen konzentrieren sich auf die Wertschöpfungsschritte, mit denen sie sich am Markt deutlich von den Wettbewerbern abgrenzen. Die Möglichkeit zum schnellen und globalen Aufbau von Auftraggeber-Auftragnehmer-Beziehungen kann zu „unerwarteten“ Konkurrenzsituationen führen, da Unternehmen mitunter auftragsbezogen die Rolle wechseln. Die dynamische Einbindung von Fertigungskapazitäten führt zu einer höheren Auslastung der Maschinen und in der Folge zu schrumpfenden Märkten der Maschinenlieferanten.

Mehrwert für die Akteure

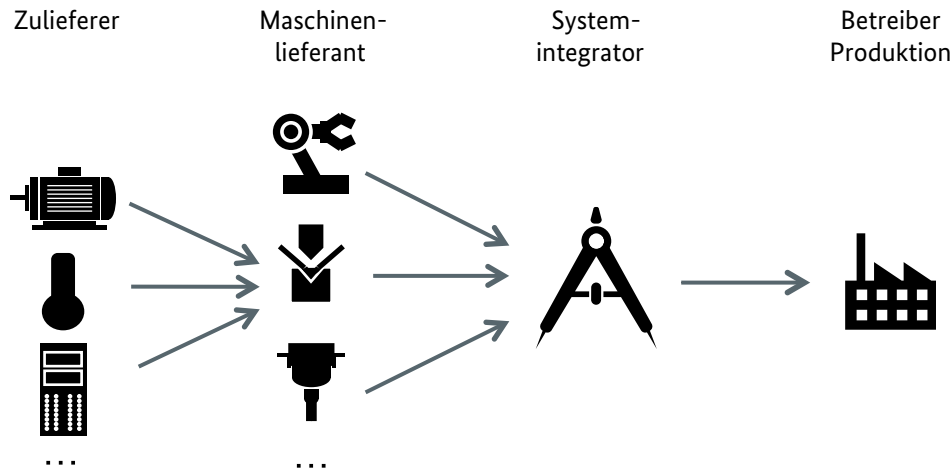
Auf der einen Seite eröffnet sich für produzierende Unternehmen die Möglichkeit, die eigenen Fertigungsfähigkeiten und Kapazitäten ad hoc entsprechend der Auftragslage durch die Einbindung externer Produktionsmodule weitgehend automatisiert zu erweitern. Investitionsmittel werden dabei nicht gebunden. Sie werden so in die Lage versetzt, sehr flexibel auf veränderte Markt- und Kundenanforderungen zu reagieren. Auf der anderen Seite können Unternehmen, die ihre Maschinen auf dem Markt anbieten, ihre Kapazitätsauslastung optimieren.

Wandlungsfähige Fabrik (WFF)

Plug & Produce – adaptierbare Fertigungskonfiguration innerhalb einer Fabrik zur kurzfristigen Veränderung von Produktionskapazitäten und Produktionsfähigkeiten.

Plug & Play – an den heimischen PC lassen sich mittels USB-Kabel neue Geräte einfach anschließen und sind meist schon nach kurzer Zeit ohne weiteres Zutun nutzbar. Was beim Computer auf dem Schreibtisch schon lange Realität ist, wird zunehmend auch für die industrielle Produktion relevant. Die Anforderungen an die Wandlungsfähigkeit von Fabriken und damit der Produktionsinfrastruktur steigen bereits heute ganz massiv. Immer kürzere Produkt- und Innovationszyklen machen es erforderlich, bei der Planung von Fabriken oder auch bei Investitionsentscheidungen für neue Produktionsanlagen nach Möglichkeit bereits künftig geforderte Fertigungsfähigkeiten und Prozess-

Abbildung 5: Wertschöpfungsnetz „Wandlungsfähige Fabrik“



Quelle: Plattform Industrie 4.0

änderungen einzubeziehen. Zudem erschwert die steigende Volatilität von Aufträgen immer häufiger die optimale Auslastung von Fertigungslinien. Flexibilität und Wandlungsfähigkeit werden immer stärkere Entscheidungskriterien beim Bau und Betrieb neuer Produktionsanlagen.

Ein Beispiel ist das Bedrucken von Produkten. Hier kommen unterschiedliche Drucktechniken zum Einsatz – je nach Druckaufgabe beispielsweise Tampondrucker (Übertrag der Druckfarbe durch einen elastischen Tampon von der Druckform auf das Produkt), Tintenstrahldrucker und/oder Laserdrucker. In der wandlungsfähigen Fabrik können solche Betriebsmittel direkt an die Automation im Produktionsprozess angeschlossen werden. Einfach ausgedrückt wird das zu bedruckende Material sagen: „Bedrucke mich“, und der Tampondrucker wird fragen: „Ist das zu bedruckende Material fettfrei?“, der Tintenstrahldrucker wird zusätzlich nach der Materialbeschaffenheit fragen, da er zum Beispiel für den Trockenprozess eine Hitzequelle verwendet, und der Laserdrucker wird nach dem zu beschriftenden Material fragen, um den Kontrast abzusichern.

Inhaltlicher Fokus

Das Anwendungsszenario der wandlungsfähigen Fabrik beschreibt den schnellen und unter Umständen auch weitgehend automatisierten Umbau einer Fertigung, sowohl im Hinblick auf geänderte Fertigungskapazitäten als auch auf geänderte Fertigungsfähigkeiten. Ein zentrales Konzept zur

Umsetzung ist ein modularer und somit wandlungsfähiger Aufbau der Produktion innerhalb einer Fabrik. Intelligente und interoperable Module, die sich weitgehend selbstständig an eine veränderte Konfiguration anpassen, und standardisierte Schnittstellen zwischen diesen Modulen ermöglichen so einen einfachen und schnellen Umbau, der sich an geänderte Markt- und Kundenanforderungen anpasst. Während im Anwendungsszenario „Auftragsgesteuerte Produktion“ der Schwerpunkt bei der flexiblen Nutzung existierender Fertigungseinrichtungen durch intelligente Vernetzung liegt, beschreibt dieses Szenario die Wandlungsfähigkeit einer einzelnen Fabrik durch den (physischen) Umbau.

Beim Aufbau einer Produktionslinie steht heute in der Regel – zusätzlich zur Qualität – die Maximierung von Produktivität und Wirtschaftlichkeit im Hinblick auf eine vorgedachte Produktpalette im Vordergrund. Die einzelnen Komponenten werden in eine statische Beziehung zueinander gesetzt und sind in der Lage, die vorgedachten Funktionalitäten und Mengenerwartungen zu beherrschen. Oft übernimmt ein Systemintegrator die Abstimmung der Einzelkomponenten aufeinander sowie die Entwicklung einer Steuerung der Gesamtanlage. Wird die Auftragslage jedoch durch eine hohe Individualität der Produkte oder eine hohe Volatilität der Nachfrage geprägt, können so geplante Produktionslinien ihre Stärken nicht mehr ausspielen. Modular aufgebaute, auftragspezifisch wandlungsfähige Fertigungskonfigurationen gewinnen dann an Wert: Sie steigern beispielsweise die Gesamtauslastung der Fertigung oder

die Lieferfähigkeit. Damit ändern sich aber auch die Anforderungen an einzelne Maschinen oder Fertigungsmodule: Wichtiger noch als eine hohe Varianz spezifischer Fertigungsvorgänge wird die prinzipielle und einfache Kombinationsfähigkeit der einzelnen Module. Um dies zu erreichen, müssen die Module eine Selbstbeschreibung im Hinblick auf die schnelle und robuste Kombinierbarkeit/Umbaubarkeit zu einer Maschine/Anlage beinhalten. Die nachfolgenden Beispiele verdeutlichen diese Anforderungen:

- Ein neues vernetzbares Feldgerät, zum Beispiel ein Antrieb, mit einer neuen Firmware-Version wird in die Fertigung eingebracht. Das neue Gerät muss automatisch Netzwerkkonnektivität erhalten und in sämtlichen angeschlossenen Teilsystemen bekannt gemacht werden. Die beteiligten Systeme müssen entsprechend aktualisiert werden.
- Ein unkonfiguriertes Feldgerät wird in die Fertigung eingebracht, beispielsweise in dem Fall, dass es aufgrund eines Fehlers des alten Geräts schnell ausgetauscht werden muss. Das Feldgerät muss nun aufgrund der in den Softwarekomponenten befindlichen Informationen individualisiert und parametrisiert werden.
- Eine Fertigung wird umgebaut oder modifiziert, weil eine neue Produktvariante hergestellt werden soll. Die steuerungs-/softwarerelevanten Änderungen sind zu detektieren und automatisch an alle beteiligten Systeme zu propagieren.
- Nach Umbau einer Anlage sollen Softwarekomponenten zur Prozesssteuerung unter Einhaltung bestimmter Kriterien – etwa Ausbringung oder Verfügbarkeit – zwischen den dezentralen Steuerungen verschiebbar sein.
- Eine (neue) Funktionalität des Manufacturing Execution Systems (MES) wird eingefügt oder geändert, zum Beispiel die Visualisierung eines bis dahin nicht benötigten Sachverhalts. Die Visualisierung soll automatisch erstellt werden, der Zugriff auf die benötigten Informationen aus der Feldebene soll ebenfalls automatisch erfolgen.

Beim Maschinenbauer erfordert dies eine entsprechende Gestaltung der internen Entwicklungsprozesse: Modulare Maschinen machen ein „modulares“ Engineering, basierend auf Bibliotheken wiederverwendbarer Module („Plattform“-Entwicklung), notwendig. Maschinenarchitekturen müssen so gestaltet werden, dass kombinierbare mechatronische Module einschließlich einer Plug&Produce-Fähigkeit der Fertigungsmodule durch interoperable Schnittstellen und

adaptive Automatisierungstechnik entstehen. Konzepte für herstellerübergreifende „Dienste“ wie Archivierung, Alarmierung oder Visualisierung sowie eine aufwandsarme Integration bezüglich der MES-Funktionen müssen entwickelt werden.

Beim Betreiber einer Produktion bedingen Veränderungen der Fabrikstruktur Anpassungen der Ablauforganisation und ggf. der Aufbauorganisation in der Fabrik. Sich ständig und häufig wandelnde Teams sowie neue Führungsstrukturen und Arbeitszeitmodelle sind also die Folge. Daraus ergeben sich neue Fragestellungen hinsichtlich neuer Führungsaufgaben und Führungsverantwortung. Außerdem muss der Betreiber einer Produktion seine Mitarbeiter für die neuen, wesentlich breiteren Anforderungen der Wandlungsfähigen Fabrik im Kontext der Digitalisierung qualifizieren.

Auswirkung auf Wertschöpfungsketten

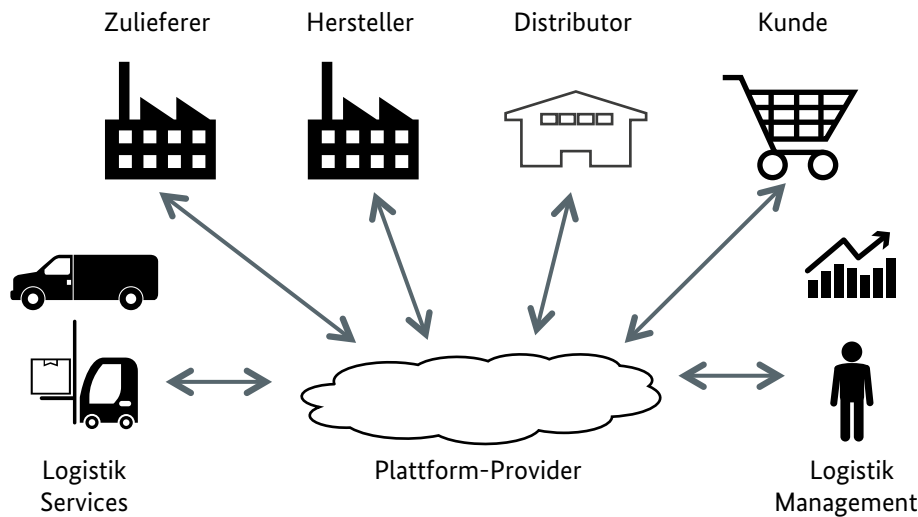
Es kommt zu einer Verlagerung von Wertschöpfung vom Systemintegrator hin zum Maschinenlieferanten beziehungsweise dessen Zulieferern, da die Maschinen oder Komponenten ertüchtigt worden sind, einfacher integrierbar zu sein. Art und Qualität der Systemintegration ändern sich. Der heute stärker (produktions-)technische Fokus verschiebt sich hin zu einem stärker organisatorischen/geschäftsprozesszentrierten Fokus bezüglich der Produktionsabläufe. In Extremfällen könnte die Rolle des Systemintegrators obsolet werden, wenn bereits auf der Ebene der Maschinenlieferanten entsprechend intelligente, selbstkonfigurierende und interoperable Fertigungsmodule entstehen.

Mehrwert für die Akteure

Für produzierende Unternehmen wird ein schnelles, aufwandsarmes und zuverlässiges Umbauen der Fertigung möglich, so dass schnell auf sich ändernde Kunden- beziehungsweise Marktanforderungen reagiert werden kann. Die zunehmende Standardisierung und Modularisierung erweitern zudem die Möglichkeiten, Fertigungseinheiten unterschiedlicher Anbieter zu kombinieren und somit für jedes einzelne Modul die wirtschaftlichste Lösung zu realisieren.

Für die Maschinenhersteller eröffnen sich durch die Modularisierung der Maschinen neue Spielräume, in denen sich Skaleneffekte ausschöpfen lassen.

Abbildung 6: Wertschöpfungsnetz „Selbstorganisierende adaptive Logistik“



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Selbstorganisierende adaptive Logistik (SAL)

Erhöhung der Flexibilität und Reaktionsgeschwindigkeit industrieller und logistischer Systeme in zunehmend volatilen und wandlungsfähigen Produktionsumfeldern.

Bereits heute fordern viele Produktionsprozesse Zulieferungen just in sequence, das heißt, die benötigte Ware wird zeit-, mengen- und artikelgenau an den richtigen Platz geliefert und dort sofort verarbeitet. Eine Unterbrechung in der Lieferkette wird also immer mehr zum entscheidenden Risiko für den Produktionsprozess. Hinzu kommen stetig steigende Kundenanforderungen an eine höhere Individualität der Produkte – so wird die berühmte Losgröße 1 zur Ultima Ratio. Und nicht zuletzt die Volatilität der Märkte stellt Anforderungen an die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der Logistik, denen starr verkettete Maschinen- und Materialflusssysteme nicht mehr gerecht werden. Kurzum: Gefragt sind zunehmend dezentralisierte, agile und autonom interagierende Fördertechnikmodule sowie eine belastbare Distributionslogistik.

Inhaltlicher Fokus

Kern dieses Anwendungsszenarios ist die Erhöhung der Flexibilität und Reaktionsgeschwindigkeit industrieller und logistischer Systeme. Die selbstorganisierende adaptive Logistik umfasst dabei die gesamte Wertschöpfungskette der horizontalen Integration (End-to-End-Logistik), begin-

nend mit der Intralogistik innerhalb der Fabriken über die adaptive Distributionslogistik mit ihren Zuliefer- und Auslieferprozessen des Supply-Chain-Managements bis hin zur Endkundenlogistik für das auszuliefernde Produkt.

Innerhalb einer Produktionsstätte werden Produktionslinien und Intralogistik miteinander verknüpft. Ein selbstlernendes System vermittelt Produktionsaufträge zwischen den Produktionsstrecken und reagiert flexibel auf Systemausfälle und Kundenprioritäten. Der Materialfluss zwischen Lager und Produktionsstrecke sowie zwischen den Produktionsstrecken wird über autonome Transportfahrzeuge sichergestellt. Die Transportfahrzeuge sind mit Sensoren und Navigationseinrichtungen ausgestattet und kommunizieren miteinander sowie mit den Systemen des Lagers und der Produktion über ein Cloud-basiertes System, Stichwort: Intelligenz in der Cloud. Sie agieren als sogenannte Smart Objects, die sich autonom oder teilautonom, durch den Menschen ergänzt, bewegen. Durch Algorithmen/Services verhandeln sie über Aufträge und Wegerechte, ermitteln optimale Wege, vereinbaren Abhol- und Lieferorte. Lagerplätze sind bereits in der Lage, über die in ihnen enthaltenen Materialien selbst Logbuch und Inventur zu führen. Bei Erreichen eines bestimmten Füllstandes oder nach Abgleich von Materialbedarf und -vorrat löst der Lagerort eigenständig eine Bestellung aus. Der Materialfluss wird sich an nahezu jede neue Situation anpassen – eben just in sequence. Veränderte Situationen an der Produktionslinie werden direkt an die Logistikteilnehmer kommuniziert. Werden vornehmlich kleinere Lose

bearbeitet, ändern sich entsprechend häufig die Produktionsbedingungen sowie die Materialbedarfe und -flüsse. An der Werksgrenze findet ein reibungsloser Übergang statt, um entweder die innerhalb des Werks notwendige Warenlieferung anzunehmen, die dann adaptiv in die Produktion integriert wird, oder um den Endkunden zu bedienen.

Auch im unternehmensübergreifenden, stetig zunehmenden Warenverkehr werden neue Vorgehensweisen in der Logistik erforderlich. Bei der Erfüllung eines Logistikauftrags außerhalb der Produktionsstätte muss einer Vielzahl von Aspekten Rechnung getragen werden. Zusätzlich zu sich ständig wandelnden Kundenanforderungen – Sicherheit der Daten und Schutz der Privatsphäre eingeschlossen – müssen auch Gegebenheiten bezüglich Umwelt, Ressourcen sowie der wirtschaftlichen und politischen Lage berücksichtigt werden. Waren, die die Produktionsstätte verlassen, besitzen in Zukunft die Kenntnis und Intelligenz, die notwendig sind, um zur richtigen Zeit beim richtigen Adressaten einzutreffen. Die zur Erfüllung des jeweiligen Logistikauftrags zur Verfügung stehenden Transportwege und -mittel, also Wasser, Schiene, Luft und Straße, werden durch intelligentes Routing ressourcen- und zeitsparend genutzt. Autonom fahrende Transportfahrzeuge und Verladeeinrichtungen werden das Straßenbild prägen und können Auftragsspitzen und Zeitdruck ohne Rücksicht auf heute limitierende Arbeitszeit- und Schutzregelungen abfangen. Dies ermöglicht nicht zuletzt neue Standortkonzepte für die vom Kundenbedarf bestimmte Produktion, einschließlich der Fertigung an absatznahen Standorten und der Rückholung von Produktionsstätten aus Niedriglohnländern. Zusammengefasst eröffnet dieses von Informations- und Kommunikationstechnologien getragene Zusammenspiel aller Akteure der intra- und extralogistischen Wertschöpfung ein neues Feld, das sowohl Industrie 4.0-Anwendungen vorantreibt, als auch deren Nutzer und Profiteur ist.

Auswirkung auf Wertschöpfungsketten

Produktion und Logistik verschmelzen zunehmend miteinander. Durch die Vernetzung der einzelnen Teilnehmer und die Verschmelzung der extra- und intralogistischen Wertschöpfungsketten entsteht eine Basis, die auch neuen Teilnehmern den Eintritt in das Ökosystem ermöglicht. So wird die Rolle von Plattform-Providern, die im Rahmen einer Vermittlerinstanz digitale Dienstleistungsfunktionen wie sichere und vertrauensvolle Datenzusammenführung oder Bereitstellung von Smart Services übernehmen, an Bedeutung gewinnen. Im ersten Schritt erfolgt die Verlagerung der Dienstleistungsfunktion ins Internet, die

Orchestrierung wird von Software übernommen; im zweiten Schritt wird den einzelnen Logistikelementen mehr Verantwortung übergeben.

Künftig sucht sich das Werkstück weitgehend selbstständig seinen Weg durch die Fabrik, sortiert und ordert Prozessabläufe, Teilnehmer und auch die Logistik. Für die Logistik kommt es zu einem Paradigmenwechsel: Logistik folgt dem Werkstück. Die Verantwortlichkeit ändert sich, indem nun Werkstücke Transportmöglichkeiten ordern. Die Logistik hat sich an diese neuen, dezentralen, vom Objekt bestimmten und dezentralen Abläufe anzupassen.

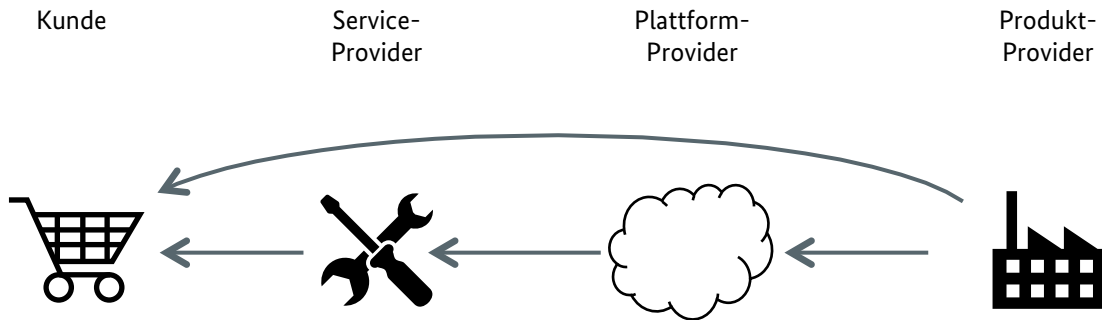
In einer Zukunftsvision, in der sich die Produktion zunehmend fragmentiert, wird die heute noch recht klare Abgrenzung zwischen Fertigung und Logistik mehr und mehr aufgelöst. Indem Logistiker bisher der Produktion zugeordnete Wertschöpfungsschritte übernehmen, lösen sich die starren Logistikketten auf und verschmelzen mit denen der Herstellung. Fertigung und Logistik konditionieren und dynamisieren sich gegenseitig. Die Logistik wird als Produktionsvorbereitung inhärenter Bestandteil der Produktion. Als Folge werden neue Rollen ins Business-Ökosystem eintreten sowie neue Geschäftsmodelle wie zum Beispiel das Offerieren von Fertigungs-, Lager- und Transportkapazitäten – Beispiele: Uber-Modell, selbstfahrende Transportfahrzeuge, Adaption der Handlungsweise sozialer Netzwerke – nach sich ziehen.

Mehrwert für die Akteure

Adaptive selbstlernende Logistik unterstützt die Individualisierung der Produkte und die damit einhergehende Flexibilisierung der Produktion. Kürzere Lieferzeiten, geringere Lagerbestände, niedrigere Preise und eine bessere Ausnutzung der vorhandenen Infrastruktur können so erreicht werden.

Die Logistik wird transparent, intelligent und flexibel. Durch optimierte Ausnutzung der Kombinationsmöglichkeiten und Wege im Netzwerk wird sie in sich robuster und kann möglichen Störungen in der Lieferkette durch innere oder äußere Einflüsse mittels besserer Entscheidungen auf Basis einer effizienten Datenanalyse entgegenwirken.

Abbildung 7: Wertschöpfungsnetz „Value Based Services“



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Value Based Services (VBS)

Prozess- und Zustandsdaten aus Produktion und Produkt-nutzung als Rohstoff für die Geschäftsmodelle und Services der Zukunft.

Im Consumer-Bereich haben die zunehmende Vernetzung von Anwendern und die damit mögliche Erfassung von Nutzerdaten bereits vielfältige neuartige Dienstleistungsangebote ermöglicht. Das Navigationsgerät im Auto beispielsweise kennt nicht nur den kürzesten Weg, sondern als Zusatzleistung auch den schnellsten, da auf der Basis der Bewegungsdaten anderer Nutzer die Verkehrssituation in Echtzeit erfasst wird. Unterhaltungsmedien werden nicht mehr gekauft, sondern über Streaming-Dienste bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt. Die angebotenen Services gehen dabei über die bloße Bereitstellung der Produkte hinaus. Auf der Basis erhobener Nutzerdaten werden dem einzelnen Kunden individuell optimierte Angebote gemacht: die schnellste Route durch die Rushhour oder Musik, die zum eigenen Geschmack passt.

Ähnliche Entwicklungen treten in einem zunehmend vernetzten industriellen Umfeld auf. Serviceangebote, die deutlich über das reine Zur-Verfügung-Stellen einer Produktionseinheit – heute zum Beispiel via Leasing – hinausgehen, gewinnen immer stärker an Bedeutung und verändern die klassischen Wertschöpfungsprozesse und Geschäftsmodelle.

Inhaltlicher Fokus

Im Kern dieses Anwendungsszenarios stehen IT-Plattformen, die Daten aus der Nutzung von Produkten – beispielsweise können das Maschinen und Anlagen für Produktionszwecke sein – sammeln, analysieren, aufbereiten und daraus bedarfs- und nutzergerechte individuelle Services anbieten. Dies umfasst beispielsweise eine optimierte Wartung zum richtigen Zeitpunkt oder auch die rechtzeitige Bereitstellung der richtigen Prozessparameter für die aktuell geforderte Fertigungsaufgabe. Bei den erfassten Daten handelt es sich beispielsweise um die Betriebsparameter für die Produkte, wie die für die Fertigung benötigten Maschinen und Anlagen, ihre Zustandsdaten, Daten aus dem Herstellungsprozess oder dem vorgelagerten Zulieferprozess. Aber auch die Eigenschaften der verarbeiteten Rohstoffe oder die betroffenen Einzelteile des Produkts gehören dazu. Ziel ist, diese Daten im Sinne eines Rohstoffs für die Optimierung von Produkten und Produktionsverfahren sowie für neue Services zu nutzen. Dadurch können nicht nur bestehende Wertschöpfungsketten verbessert, sondern gegebenenfalls auch neue Wertschöpfungsselemente geschaffen werden.

Auswirkung auf Wertschöpfungsketten

Das industrielle Umfeld wird heute im Wesentlichen durch zwei Akteure bestimmt – den Produkt-Provider (also der Hersteller von Produktionsanlagen einschließlich des Service-Providers) und den Kunden (Produktnutzer, also der Betreiber von Produktionsanlagen), die dabei mehr oder weniger intensiv zusammenarbeiten.

Mit der Einführung von „Value Based Services“ kommt ein weiterer Akteur ins Spiel, der die IT-Plattform betreibt und darüber neue Leistungen für die beiden klassischen Partner bereitstellt. Dieser Plattformbetreiber kann ein neues Glied in der Wertschöpfungskette sein, also ein eigenständiges Unternehmen. Diese Rolle kann aber auch der Produkt-Provider übernehmen, indem er seine Wertschöpfung gegenüber dem aktuellen Stand steigert.

Die Produkt-Provider stellen Daten und Parametersätze aus ihren Produkten als Rohstoff bereit. Auf der Basis der Daten aller Nutzer können nun neue Dienstleistungen wie beispielsweise eine individuell optimierte Wartung oder spezifische Betriebs- und Prozessparameter, die die Produktionsfähigkeiten der bestehenden Infrastruktur optimieren oder sogar erweitern, entwickelt werden. Der Anbieter dieser Dienstleistungen (Service-Provider) besetzt die Schnittstelle zwischen dem Produkt-Provider und dem Nutzer. Das führt dazu, dass die Anteile an der Wertschöpfung vom Produkt-Provider zum Nutzer gegenüber der heutigen Situation teils signifikant verschoben werden könnten: Aus Sicht des Nutzers differenzieren sich die Produkte dann vorrangig durch die damit verbundenen Services beziehungsweise durch die Möglichkeit, solche Services auch nach dem Kauf des Pro-

dukts zu ergänzen, und eben nicht mehr primär durch vom Produkt-Provider vorgegebene (physische) Spezifikationen. Vor diesem Hintergrund ist es für den Produkt-Provider sehr attraktiv, entsprechende Plattformen zu nutzen und darauf neue Services anzubieten.

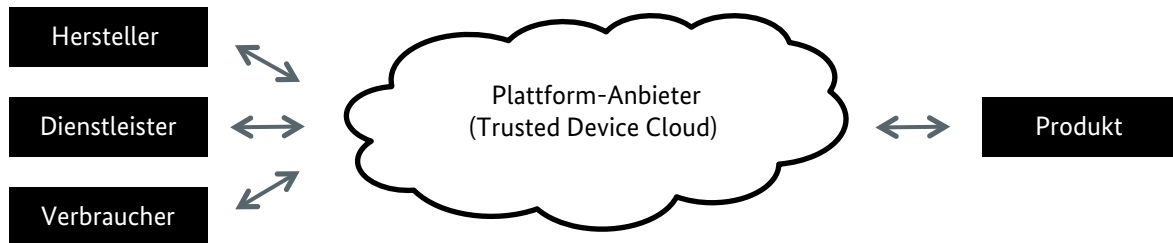
Mehrwert für die Akteure

In diesem Anwendungsszenario resultiert der Mehrwert für den Nutzer aus der Verfügbarkeit einer Vielzahl von Prozessdaten unterschiedlichster Anwendungsfälle, die er für die Weiterentwicklung seines Portfolios an Produkten nutzen kann. Als Betreiber entsprechender IT-Plattformen kann der Produkt-Provider neue Services anbieten. Er stärkt so die Kundenbindung und steigert seinen Anteil an der Wertschöpfung.

Der Mehrwert für den Nutzer hingegen resultiert beispielsweise aus einem besseren Einsatz des Produkts, einer höheren Verfügbarkeit des Produkts durch beispielsweise verbesserte Wartung oder einer Optimierung der Produktnutzung durch eine bestmöglich angepasste Parametrierung des Produkts.



Abbildung 8: Wertschöpfungsnetz „Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte“



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte (TWP)

Automatische Erhebung nutzungsbezogener Daten über ausgelieferte Produkte zur Optimierung von Geschäftsprozessen, für neue Geschäftsmodelle und zur dynamischen Anpassung von Produkteigenschaften.

Zustands-Monitoring und nutzungsabhängige Anpassung von Produkten nach Auslieferung oder die bedarfsgerechte Freischaltung einzelner Features – bei einigen Softwareprodukten insbesondere für den Home- und Office-Bereich ist dies bereits seit vielen Jahren etabliert. So wird die Spracherkennung immer besser, der Viren-Scanner ist stets auf dem aktuellen Stand, was neue Bedrohungen betrifft, und das Betriebssystem kann einfach an geänderte Geräteanforderungen oder Nutzerwünsche angepasst werden.

Sobald jedoch ein klassisches Produkt die Fabrik verlässt, kann der Hersteller in der Regel nur noch mit großem Aufwand Informationen über den Einsatz des Produkts erhalten, zum Beispiel durch Kundenbefragungen. Auch hat er keine kostengünstige Möglichkeit, das Produkt nach Verlassen der Fabrik noch zu verändern, um es so beispielsweise an sich verändernde Einsatzbedingungen anzupassen.

Inhaltlicher Fokus

Dieses Anwendungsszenario beschreibt den Übergang der aus dem Softwarebereich bekannten Geschäfts- und Nutzungsmodelle auf weitere Produkte, die im Gegensatz zu heute zunehmend veränderbar gestaltet werden. Diese werden künftig mehr und mehr über Speicher, Prozessoren und Kommunikationsmodule verfügen, die sie direkt mit dem Internet verbinden. Dadurch können Hersteller während des gesamten Produktlebenszyklus sehr kostengünstig

auf Informationen über Produkte zugreifen und diese nachträglich umkonfigurieren und aktualisieren. So besteht die Möglichkeit, beispielweise Betriebsdaten in Echtzeit zu erfassen und Konfigurationen an die aktuellen Einsatzbedingungen anzupassen. Auch lassen sich individualisierte After-Sales-Services anbieten. Ein Beispiel für einen solchen Service ist die zustandsbasierte Wartung (Condition-based Maintenance), bei der eine Wartung aufgrund des aktuellen Zustands des Produkts erfolgt und nicht auf der Basis fester Wartungsintervalle.

Die Herausforderungen bei der Umsetzung dieses Anwendungsszenarios liegen in der Schaffung einer geeigneten Infrastruktur, mit der sämtliche Produktinformationen sicher gesammelt, gespeichert und analysiert werden können, sowie in einem Produktdesign, das die spätere Wandlungsfähigkeit sowohl bei der Software als auch bei der Hardware bereits im Entwurf berücksichtigt.

Bei der Infrastruktur muss eine hoch skalierbare Technologieplattform bereitgestellt werden, die potentiell hunderttausende Geräte, die jeweils mehrere Mbyte an Daten pro Tag produzieren – Stichwort Big Data –, beherrschen kann. Hierzu sind zusätzlich zu einer breitbandigen Kommunikationsinfrastruktur entsprechende Speicher-, Datenbank- und Analysetechnologien erforderlich. Um die großen Datenmengen beherrschbar zu machen, müssen möglichst große Teile der Daten dezentral, also bereits am Ort ihrer Entstehung, vorverarbeitet werden („Fog Computing“). Hierfür sind teilweise neue, verteilte Algorithmen erforderlich. Ebenso wird es wichtiger werden, dass Teile von Steuerungsaufgaben dezentral koordiniert werden, wozu Standards und Regeln erforderlich sind, auf deren Grundlage Produkte untereinander Informationen austauschen und gemeinschaftlich Entscheidungen treffen können („Schwarm-Intelligenz“).

Bei Betriebsdaten von Produkten handelt es sich teilweise um höchst sensible Informationen, aus denen sich beispielsweise Geschäftsgeheimnisse des Produktnutzers ableiten lassen. Daher spielt die Ende-zu-Ende-Sicherheit dieser Daten vom Sensor bis in die Anwendungen und Geschäftsprozesse hinein eine außerordentlich wichtige Rolle.

Im Produktdesign müssen Optionen integriert werden, die zu einem späteren Zeitpunkt in der Nutzung neue oder erweiterte Funktionen ermöglichen. Deshalb ist von einer weiteren Zunahme der Variantenvielfalt der Produkte auszugehen. Neu ist, dass die jeweilige Variante eines Produkts bei dessen Auslieferung noch nicht endgültig feststeht und sich sogar während der Lebenszeit des Produkts ändern kann. So ist es denkbar, dass ein Kunde künftig für einen Wochenendausflug mit seinem Cabrio in die Alpen zusätzlich Motorleistung beim Hersteller bucht, die ihm dann nur für dieses Wochenende per Softwarekonfiguration bereitgestellt wird. Hierzu existieren heute teilweise noch nicht die erforderlichen rechtlichen Rahmenbedingungen im Hinblick auf Betriebserlaubnis oder Zertifizierung.

Auswirkung auf Wertschöpfungsketten

Durch die erhöhte Transparenz über die Verwendung von Produkten und die damit verbundene Möglichkeit, individualisierte After-Sales-Services anzubieten, wird sich der Trend verstärken, anstatt einzelner Produkte ganze Dienstleistungspakete zu verkaufen, die zusätzlich zum Produkt eine entsprechende Wartung beinhalten („vom Produkt zum Service“).

Bei der Abrechnung dieser Gesamtpakete werden sich mehr und mehr Geschäftsmodelle durchsetzen, die nicht auf einem Festpreis basieren, sondern sich an der tatsächlichen Nutzung der Produkte orientieren („Outcome-based Business Models“). So könnte künftig etwa ein Hersteller von Gabelstaplern ein solches Dienstleistungspaket auf Basis der transportierten Ladungsmenge („Pay-per-Load“) abrechnen.

Zudem ist davon auszugehen, dass sich der Trend hin zu einer „Sharing Economy“ verstärkt, in der nicht mehr Einzelpersonen oder Organisationen Produkte und Güter besitzen, sondern diese unter mehreren Nutzern geteilt werden, wie das beispielsweise beim Car Sharing schon heute der Fall ist. Um in einer solchen Sharing Economy faire Abrechnungsmodelle zwischen den einzelnen Nutzern zu ermöglichen, ist eine Transparenz über die Verwendung der Produkte unverzichtbar.

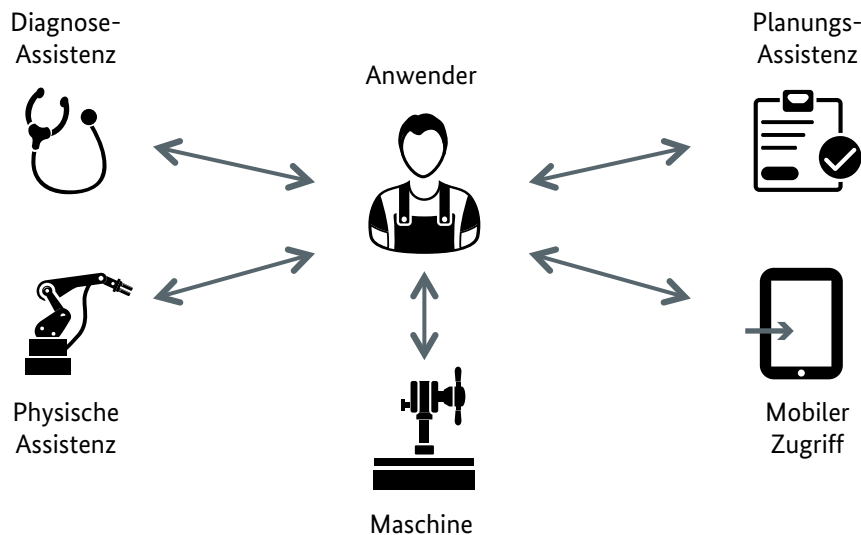
Mehrwert für die Akteure

Der Mehrwert wandlungsfähiger Produkte liegt zum einen darin, dass diese besser an ihre jeweiligen, aktuellen Einsatzbedingungen angepasst werden können, beispielsweise durch eine ferngesteuerte Konfigurationsänderung in den Betriebsparametern, und zum anderen darin, dass eine bessere Produktpflege, beispielsweise durch Software-Updates, erfolgen kann. Diese Möglichkeit gewinnt mehr und mehr an Bedeutung, da die Lebenszyklen der Software häufig deutlich kürzer sind als die des Gesamtprodukts.

Die erhöhte Transparenz über den Nutzen der Produkte durch in Echtzeit verfügbare Betriebsdaten kann vielfältig genutzt werden. Ein wichtiger Mehrwert sind hier sicherlich die bereits erwähnten individualisierten, maßgeschneiderten Dienstleistungen im After-Sales-Geschäft. Zusätzlich zu verbesserten Dienstleistungen können die Informationen über Produkte auch zur Optimierung unterschiedlichster Geschäftsprozesse genutzt werden. So können beispielsweise die Auslastung von Maschinen und die Nutzung von Containern besser analysiert werden und Kosteneinsparpotentiale erkannt werden. Ferner helfen die Betriebsdaten den Herstellern, Schwachstellen und Verbesserungspotentiale in den Produkten schneller zu erkennen und somit eine effizientere Produktpflege umzusetzen.

Der Kunde profitiert von Dienstleistungen, die besser auf den individuellen Einsatz seines Produkts zugeschnitten sind, von einer effizienteren Produktwartung – zum Beispiel Aktualisierung von Softwareständen oder Condition-based Maintenance – und von stärker individualisierbaren Produkten. So ist es beispielsweise denkbar, dass bestimmte Produkt-Features nur einem speziellen Kundenkreis zur Verfügung gestellt werden. Ausgewählte Produkteigenschaften könnten einem Kunden auch nur zeitlich befristet angeboten werden, solange er sie auch tatsächlich benötigt. Bezahlen würde der Kunde für dieses Feature dann nur für die Zeit, in der er es auch tatsächlich nutzt.

Abbildung 9: Wertschöpfungsnetz „Mensch-Technik-Interaktion in der Produktion“



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Mensch-Technik-Interaktion in der Produktion (MTI)

Zukünftige Formen der Interaktion zwischen Menschen und technischen Systemen in der Produktion.

Die Digitalisierung macht es möglich: Immer mehr Menschen tragen inzwischen einen persönlichen Assistenten in Form ihres Smartphones mit sich herum. Telefonieren oder die Terminerinnerung sind dabei nur die einfachsten Funktionen, die diese Geräte heute erfüllen. Sie unterstützen ihre Nutzer auf vielfältige Weise: Die aktuelle Verkehrslage wird in die Terminplanung einbezogen, Fremdsprachen werden übersetzt, und der persönliche Fitnesstrainer ist ebenfalls an Bord. Die zunehmende Digitalisierung führt auch in der industriellen Produktion dazu, dass der Mensch in allen möglichen Teilbereichen seiner Arbeit unterstützt wird. Dies steigert die Motivation, erhöht die Produktivität und versetzt Menschen in die Lage, durch gezielte Informationsaufbereitung immer komplexer werdende Situationen schneller und sicherer zu bewerten. Voraussetzung für die Umsetzung der neuen Technologien ist dabei immer der sichere Umgang mit persönlichen Daten.

Inhaltlicher Fokus

Das Anwendungsszenario beschreibt verschiedene Aspekte von Industrie 4.0, bei denen Menschen in ihren unterschiedlichen Rollen und Tätigkeiten mit technischen Systemen in der Produktion interagieren. Das Spektrum umfasst sowohl die physische Assistenz durch Unterstützung körperlicher Fähigkeiten mit Hilfe entsprechender Geräte (Fähigkeitsverstärker) wie auch Assistenzfunktionen zur Unterstützung bei Analysen oder der Entscheidungsfindung. Anwendungsbeispiele hierfür reichen von der kontextsensitiven Diagnose technischer Störungen oder komplexer Arbeitsprozesse bis hin zur ortsbezogenen Wartungs- und Planungsassistenz. Ein weiterer Aspekt der Mensch-Technik-Interaktion kommt bei personalisierten und an die jeweilige Situation angepassten Lernsystemen zum Tragen.

Flexiblere und intelligente Maschinen können vom Menschen schnell und einfach auf neue Aufgabenstellungen ausgerichtet werden. Der Umstand, dass Menschen und Roboter heute ohne trennenden Schutzzaun eng und sicher zusammenarbeiten können, ermöglicht eine neue, sinnvolle Aufteilung von Arbeitsinhalten. Der Mensch kann sich auf die hochwertigen Tätigkeiten wie beispielsweise Qualitätsmanagement konzentrieren und wird zunehmend von körperlichen Anstrengungen sowie von gefährlichen, schmutzigen und monotonen Tätigkeiten entlastet.

Durch individuelle Anpassung des Arbeitsplatzes an das persönliche Profil, etwa hinsichtlich Ergonomie, Sprache und Benutzerdialogen, wird das Arbeitsumfeld attraktiver. Innovative Lernformen zur vorbereitenden und umfassenden Qualifikation für geänderte oder erweiterte Aufgaben befähigen und motivieren den Menschen für seine Tätigkeit.

Moderne Kommunikationstechnologien wie mobile Endgeräte, Smart Watches oder Datenbrillen erlauben einen flexiblen Zugriff auf benötigte Informationen vor Ort, beispielsweise zum Abruf von Betriebsmitteldaten in Text und Bild für den Service vor Ort oder Einstellanleitungen als Video. Außerdem kann der Wissenstransfer im gesamten Unternehmen unterstützt werden. So können zum Beispiel wertvolle Erfahrungen aus der Fehlersuche in elektronischen Logbüchern dokumentiert und mit Kollegen weltweit geteilt werden, um so bei wiederkehrenden Fragestellungen zu helfen. Schnelle Hilfe bei der Lösung komplexer Probleme kann die Remote-Unterstützung durch Experten mit Livebild-Übertragung beispielsweise in Kombination mit Augmented Reality bringen. Zielgerichtete Informationen in Echtzeit befähigen den Mitarbeiter, Gesamtzusammenhänge zu erkennen und auf unvorhergesehene Ereignisse adäquat zu reagieren. So können etwa Verbesserungsmaßnahmen ergriffen werden, wenn Qualitätsmeldungen vom Prüfstand an die Montageplätze übermittelt werden. Durch aktuelle Information des Mitarbeiters über Variantenwechsel und die erforderlichen Montageschritte wird die hohe Variantenvielfalt beherrschbar.

Auswirkung auf Wertschöpfungsketten

Die Umsetzung des Industrie 4.0-Gedankens in der Produktion wird zu veränderten Arbeitsinhalten und einer neuen Arbeitsorganisation führen. Ein erfolgreicher Wandel setzt voraus, dass die Belegschaft frühzeitig und aktiv in den Veränderungsprozess eingebunden wird und dass jedem einzelnen Mitarbeiter die Vorteile und Mehrwerte dieses Szenarios aufgezeigt werden. Nur durch eine enge Zusammenarbeit zwischen Facharbeitern, Datenanalysten und Softwareentwicklern können die Bedürfnisse der Mitarbeiter und die Anforderungen der Produktion erfolgreich mit Industrie 4.0-Elementen in Einklang gebracht werden.

Bereits heute ist der wachsende Variantenreichtum in der industriellen Fertigung erkennbar, wodurch immer häufiger das Erlernen neuer Arbeitsschritte oder die zuverlässige

Umsetzung unterschiedlicher Montageabläufe erforderlich werden. Im Extremfall gibt es für jedes einzelne Produkt einen eigenen Ablauf.

Einerseits übernimmt der Mensch in der industriellen Produktion zunehmend steuernde Funktionen und steht vor der Aufgabe, immer komplexere Entscheidungen treffen zu müssen, zum Beispiel bei der Wartung oder dem Umbau von Anlagen. Zusätzlich zur IT-basierten Entscheidungsunterstützung erfordert dies auch eine entsprechende (Weiter-)Qualifizierung, um mit der großen Fülle an Daten umgehen zu können. Andererseits werden adaptive und lernende Assistenzsysteme Teile dieser Komplexität verbergen und damit direkt oder indirekt Entscheidungen des Menschen beeinflussen. Vor diesem Hintergrund muss die Diskussion über Veränderungen der Arbeitsinhalte auch die zukünftige Aufteilung der Verantwortung mit einschließen.

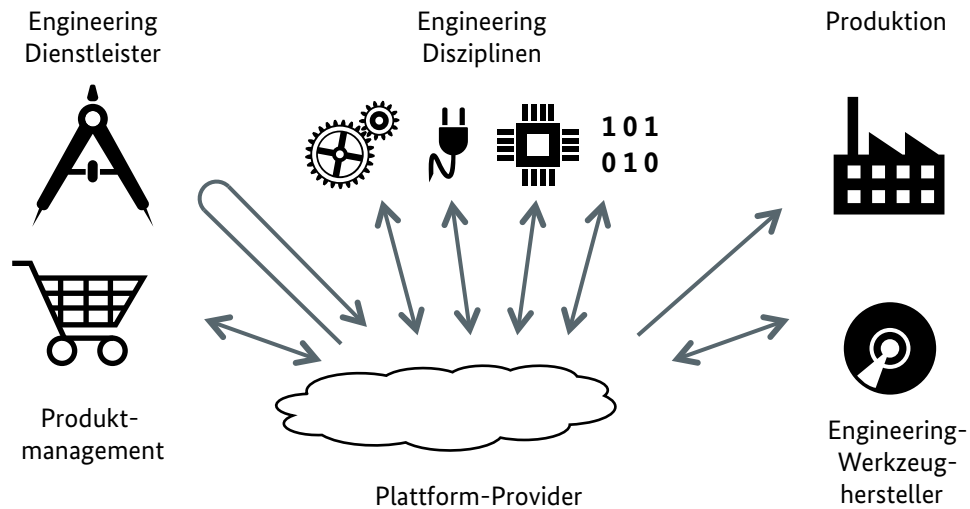
Mehrwert für die Akteure

Industrie 4.0 eröffnet den Unternehmen und den in ihnen arbeitenden Menschen neue Lösungsansätze für Herausforderungen, die aus dem demografischen Wandel und der zunehmenden Volatilität der Märkte resultieren.

Für den einzelnen Arbeitnehmer bedeutet das: Die Lebensarbeitszeit wird länger, in immer kürzeren Abständen muss er neue Tätigkeiten erlernen, und er benötigt – und bekommt – Unterstützung bei körperlich anstrengenden oder monotonen Arbeiten. Insgesamt wird die Arbeit hochwertiger und interessanter. Die Aufgaben werden vielfältiger und ermöglichen auf allen Hierarchieebenen eine höhere Entscheidungsfreiheit in sich verändernden Verantwortungsbereichen.

Für den Arbeitgeber eröffnet die Digitalisierung neue Möglichkeiten, Personal flexibel, in flacheren Strukturen und ohne lange Einarbeitungszeiten einsetzen zu können. So kann das Unternehmen besser auf Auftragsspitzen und wandelnde Marktanforderungen reagieren. Der Einsatz von Telearbeit erlaubt es zudem, den Anforderungen der weiter fortschreitenden Globalisierung gerecht zu werden und spezialisierte Fachkräfte ohne lange Reisezeiten weltweit einzusetzen. Durch für beide Seiten attraktive Arbeitsbedingungen können sich Arbeitgeber zudem im Wettbewerb um qualifiziertes Personal einen Vorteil verschaffen.

Abbildung 10: Wertschöpfungsnetz „Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion“



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion (SP2)

Virtuelle Produkte ermöglichen neue Formen der Zusammenarbeit in Engineering-Prozessen und die Automatisierung von Engineering-Tätigkeiten.

Mit der Einführung von Rechnersystemen ist die Arbeitswelt digitaler geworden. Produkte und Prozesse werden digital im Design und in ihrer Beschreibung erstellt und abgelegt. Prozessketten liegen systematisiert und digital vor. Nachweislich resultieren daraus eine Steigerung der Effizienz und Qualität sowie eine Reduzierung der Kosten. Entsprechende Beispiele finden sich sowohl für Geschäfts- als auch für Entwicklungsprozesse.

Mit der Nutzung des Internets und mobiler Geräte haben sich im privaten Umfeld das Kommunikationsverhalten und die Verfahren zur Entscheidungsfindung bereits deutlich geändert, was auch Potential im industriellen Umfeld bietet. Suchmaschinen geben Antworten auf gestellte Fragen, und Tutorials unterstützen Privatleute wie Unternehmen bei Problemlösungen. Informationen sind aufgrund sozialer Medien direkt verfügbar und verknüpft, mit Internetdiensten analog zu WhatsApp oder Doodle werden Projekte erarbeitet und Termine abgestimmt, und Ergebnisse werden in Plattformen unter Nutzung von Wiki-Tools dokumentiert.

Was im privaten Umfeld mit dem durchgängigen Zugriff auf digitale Daten als gelöst erscheint, erweist sich in der Industrie noch als Herausforderung. Zusätzlich zur Betrachtung von Security und Know-how-Schutz ist die maschinenlesbare Gestaltung und Interpretation von Engineering-Daten in Form von Modellen über das zu entwickelnde technische System eine Grundvoraussetzung für den geregelten Informationsaustausch zwischen Engineering-Werkzeugen und Informationsweitergabe an Produktionsplanungs- und Produktionssysteme sowie die damit arbeitenden Menschen.

Inhaltlicher Fokus

Das Anwendungsszenario einer „Smarten Produktentwicklung für die smarte Produktion“ beschreibt die Datentransparenz und -nutzung im Umfeld der Produktentwicklung. Produkte werden im Rechner digital entwickelt und erprobt, wozu beispielsweise die Anforderungen und die Funktionen des Produkts modelliert werden müssen, und nutzen, als System im System, die digitalen Materialdaten ihrer Zulieferer. Gleichzeitig wird das entwickelte Produkt durch den Kunden verwendet, in andere Lösungen eingebaut, und diese wiederum werden dessen Kunden physisch und digital zur Verfügung gestellt. Dieses physische und virtuelle Produkt – Cyber-Physisches System – beinhaltet Anteile der Beschreibung des Zulieferteils, des Produktherstellers und des Lösungslieferanten. In der Umsetzung des

virtuellen Produkts, als Typ eines Produkts, in eine gefertigte Instanz werden die Daten in der Produktionsplanung und dem Produktionsprozess genutzt. Es werden die für die Produktion notwendigen Anforderungen an die Produktionssysteme und deren Programmier- und Projektieraufgaben zur Verfügung gestellt. In der Produktverwendung stellt dann das virtuelle Produkt Informationen für die Produktinstallation und -nutzung bis hin zur Entsorgung beziehungsweise Materialwiederverwendung zur Verfügung.

Auswirkung auf Wertschöpfungsketten

Heute beinhalten Engineering-Werkzeuge die dedizierten Engineering-Fähigkeiten und deren Produktivdaten und lassen nur wenig standardisierte Kommunikation zu. Die notwendigen Datenketten und -übergaben werden aktuell durch spezifische Managementsoftware und Konverter bewerkstelligt.

In kollaborierenden intelligenten Netzwerken werden die Engineering-Werkzeuge ihre Produktivdaten maschinenlesbar und -interpretierbar auf Basis einer grundlegenden Semantik und Syntax, also einer Sprachform, austauschen und verarbeiten. Wortschatz – technische Themengebiete, Synonyme, branchenspezifische Ausdrücke – und lokale Sprache des Nutzers finden ebenso ihre Bedeutung wie die prozessuale Abwicklung von Prozessschritten in der Produktion. Datenverknüpfung fördert auch den Rückfluss von Daten aus nachgelagerten Wertschöpfungsketten oder der Nutzung von Produkten oder Produktionsmitteln in die vorgelagerten Prozesse von Herstellern und Zulieferern.

Mit dieser Methodik werden Prozesse zwischen Zulieferern, Herstellern und Kunden effizient gestaltet. Die Verfügbar-

keit von global verwendbaren, technisch verlässlichen und vertrauenswürdigen Standards sorgt für eine Infrastruktur, die den vernetzten Austausch von Daten ermöglicht und das Engineering, von der Produkthanforderung bis in die Produktion, in selektive Teilpakete schneidet.

Das Fragmentieren der Engineering-Ketten lässt diese als Dienstleistungen in verschiedenen Wertschöpfungsketten produktiv arbeiten und spezialisierte Fähigkeiten vielfältig anwenden.

Das Standardisieren von Anforderungen, als Ergebnisfacetten des Produkt-Engineerings, ermöglicht es, die Fähigkeiten adaptiver Produktionsmittel zu nutzen.

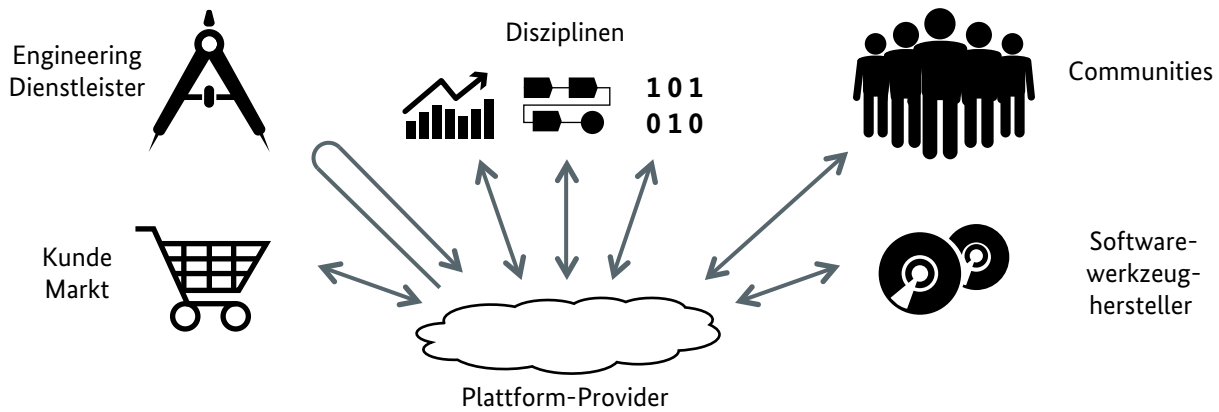
Mehrwert für die Akteure

Die derzeit starren Engineering-Ketten werden aufgebrochen, um Zulieferer, Hersteller, Produzenten, Systemlieferanten und Kunden schon in der Engineering-Phase in die Lage zu versetzen, die Anforderungen gemeinsam zu definieren, Funktionalitäten in Technologie und Produktion abzugleichen und zusätzlichen Nutzen in nachfolgenden Prozess- und Wertschöpfungsschritten zu ermöglichen. Qualitätsdaten aus der gesamten Wertschöpfungskette führen bereits im Engineering zu erheblicher Prozessstabilisierung und Qualitätskostenreduzierung.

Für Komponentenhersteller, Technologie- und Engineering-Lieferanten sowie Maschinen- und Anlagenhersteller eröffnen sich neue Marktsegmente. Die Digitalisierung in Engineering-Netzwerken optimiert bestehende Prozesse, erhöht durch Kollaboration die Wettbewerbsfähigkeit und sichert die Lösungskompetenz.



Abbildung 11: Wertschöpfungsnetz „Innovative Produktentwicklung“



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Innovative Produktentwicklung (IPE)

Durch adäquate Einbindung aller relevanten Interessengruppen in den Engineering-Prozess und eine geeignete methodische Vorgehensweise wird das richtige Produkt richtig entwickelt.

Das Betriebssystem Linux, der Internet-Browser Firefox oder die Online-Enzyklopädie Wikipedia sind bekannte Beispiele dafür, wie durch das Zusammenwirken unterschiedlichster Akteure neue Produkte entstehen, die kontinuierlich entlang der Bedürfnisse der Benutzer weiterentwickelt werden und sich im Markt gegenüber Wettbewerbern behaupten.

Solche kollaborativen Engineering-Prozesse auf Basis der Vernetzung einer Vielzahl von Akteuren werden zukünftig auch für die produzierende Industrie immer wichtiger. Die steigende Volatilität der Märkte und die Schnellebigkeit der Produkte, die zunehmende Kundenanforderung nach individualisierten Produkten sowie deren steigende Komplexität erfordern innovative Prozesse für die Produktentwicklung. Neben unterschiedlichen Disziplinen, Dienstleistern und den Anbietern immer spezialisierterer Technologien müssen dabei zunehmend auch spätere Produktnutzer bis hin zum Endkunden durch intelligente Vernetzung eingebunden werden.

Inhaltlicher Fokus

Kern dieses Anwendungsszenarios sind Prozesse zur innovativen Produktentwicklung auf der Basis der intelligenten

Vernetzung und Kollaboration unterschiedlichster Akteure. Das Spektrum reicht dabei von verschiedenen Engineering-Disziplinen über Engineering-Dienstleister, Technologie-Lieferanten, Anbieter spezialisierter Fertigungsverfahren wie Additive Manufacturing, Provider von Kollaborationsplattformen bis hin zu Communities wie Open Source oder Open Innovation und den Kunden des Produkts. Möglich wird dies durch neue Formen der Internet-basierten Zusammenarbeit. Deren Potential muss jedoch durch eine durchgängige Gestaltung von Engineering-Prozessen und die Unterstützung durch eine geeignete Engineering-Werkzeuglandschaft erschlossen werden.

Ziel des (produzierenden) Unternehmens ist es in diesem Anwendungsszenario, das richtige, den tatsächlichen Markt-/Kundenanforderungen entsprechende Produkt auf möglichst effiziente und zielführende Weise zu entwickeln. Zahlreiche Beispiele zeigen, dass generell der Markt die langfristig grundsätzliche Diskontinuität signifikant unterschätzt. Aufgrund von Verschiebungen am Markt oder der Reife neuer Technologien können Wettbewerber für ein (produzierendes) Unternehmen entstehen, die mit einem anderen Geschäftsmodell operieren. Dieser generellen Bedrohung kann durch die breite Einbindung verschiedenster Kompetenzen in einer sehr frühen Phase der Produktentstehung begegnet werden. Der Anbieter eines Produkts wird sich auf seine Kernkompetenzen fokussieren und bereits bei der Produktentwicklung die richtigen Partner einbinden, so dass für das angestrebte Geschäftsszenario die richtigen Technologien sowohl im Produkt als auch bei dessen Herstellung eingesetzt werden. Dazu müssen die Partner sich einfach (vergleichbar wie bei sozialen Netz-

werken) in die Produktentwicklung einbringen können. Dabei kann auch der Kunde zum Co-Unternehmer werden. Für den Anbieter des Produkts bedeutet dies aber auch, dass er über eine Beurteilungskompetenz im Hinblick auf die Reife von (neuen) Technologien verfügen muss.

Durch die Kollaboration bei der Produktentwicklung über Standort- und Firmengrenzen hinweg können sich zukünftig insbesondere neue Partner beteiligen (beispielsweise Freelancer, Crowdsourcing), die bisher typischerweise nicht involviert sind. Die Interdisziplinarität in Kombination mit einem System-of-Systems-Ansatz erlaubt es, alle notwendigen Perspektiven zu berücksichtigen und den jeweils besten Lösungsansatz für die Entwicklung zu wählen.

Notwendige Voraussetzung für die Entwicklungskoordination ist ein Modell-basierter Entwurf, der das System, seinen Kontext und alle Beziehungen zwischen System und Kontext sowie System und Subsystemen in einem Modell beschreibt, um auf dieser Basis beispielsweise einen Produktentwurf optimieren oder vereinfachen zu können. Darüber hinaus bedarf es einer Simulations- und Visualisierungsumgebung, die es potentiellen Nutzern erlaubt, virtuelle Produkte bereits frühzeitig zu erfahren und zu bewerten. Auf diese Weise können zukünftige Produkte im Hinblick auf zentrale Anforderungen validiert und ganzheitlich optimiert werden.

Damit die Zusammenarbeit effizient gelingt, werden die vielen unterschiedlichen Engineering- und Analyse-Werkzeuge mit Hilfe einer IT-Plattform integriert, die den Austausch zwischen diesen sowie ggf. proprietären Werkzeugmodulen erlaubt.

Ein besonderes Augenmerk muss auch auf die adäquate Spezifikation und vollständige Verifikation der angestrebten Produkteigenschaften gelegt werden. Dies gilt insbesondere auch für nicht-funktionale Anforderungen. Die notwendigen Informationen müssen so weit aufbereitet sein, dass effektiv Entscheidungen getroffen werden können und insbesondere auch ein Synchronisieren der Produktentwicklung mit der Geschäftsstrategie möglich ist.

Auswirkung auf Wertschöpfungsketten

Die steigende Bedeutung und Macht des Kunden im Kontext von Mass-Customization sowie die zunehmende Komplexität von Produkten und die wachsende Innovationsdynamik führen bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung zu veränderten Rollen im Wertschöpfungs-

netzwerk. Durch die einfache und schnelle Ergänzung der eigenen Kernkompetenzen durch die (Ad hoc-)Einbindung zusätzlicher Entwicklungspartner bis hin zu potentiellen Kunden können Produkte stärker als bisher aus der Marktperspektive gedacht werden.

Anbieter neuer Technologien beispielsweise zur Herstellung von Produkten wie additive Fertigungsverfahren oder die Lasermaterialbearbeitung mittels Ultrakurzpulslaser werden zukünftig noch stärker als heute bereits in frühen Phasen der Produktentstehung zu Entwicklungspartnern; und dies dank neuer Möglichkeiten der Kollaboration nicht nur innerhalb von über viele Jahre gewachsenen bilateralen Kooperationen, sondern spontan von Projekt zu Projekt ohne längeren Planungsvorlauf.

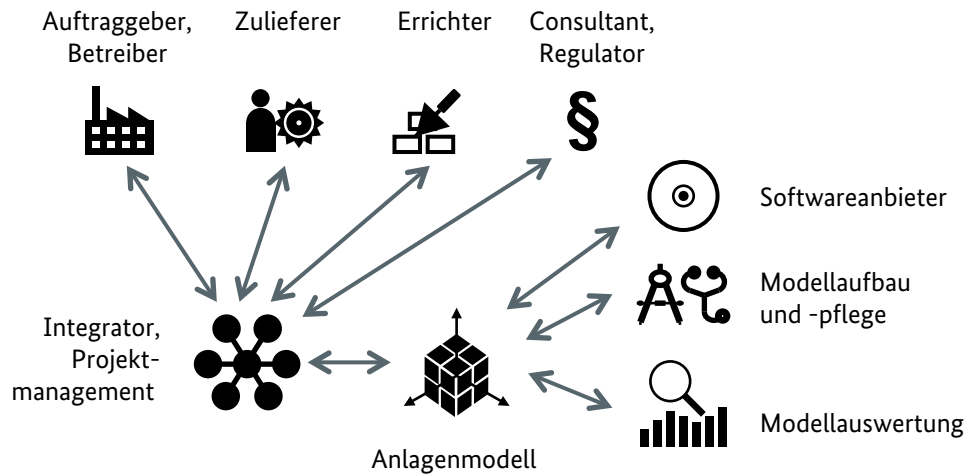
Die Anbieter von Kollaborations-Plattformen nehmen zukünftig eine zentrale Position im Wertschöpfungsnetzwerk ein, indem sie neben dem Austausch auch die Zusammenführung der unterschiedlichen Akteure bewirken.

Mehrwert für die Akteure

Mit der Umsetzung des Anwendungsszenarios können Unternehmen dem steigenden Innovationsdruck und den immer kürzeren Produktzyklen sowie dem immer häufigeren Wunsch nach individualisierten Produkten begegnen. Die effiziente Produktentwicklung unter Einbindung unterschiedlichster Partner erlaubt es, „das Rad nicht immer selbst erfinden zu müssen“, und reduziert so die time-to-market. Durch die „Ad hoc“-Einbindung zusätzlicher Kompetenzen und die flexible Nutzung eines breiten Spektrums von Diensten der „On-Demand Economy“ wird es für Unternehmen möglich, komplexere Produkte zu entwickeln. Zudem können neue (Fertigungs-)Technologien wie Additive Manufacturing und innovative Materialien bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung berücksichtigt werden und so optimal für das Produkt genutzt werden.

Durch die Einbeziehung der späteren Produktnutzer und die Nutzung des Potentials von Crowdsourcing für die Ideen- und Produktentwicklung wird eine optimale Befriedigung von Kundenbedürfnissen erreicht. Unter Umständen können so auch disruptive Marktveränderungen früher erkannt werden.

Abbildung 12: Wertschöpfungsnetz „Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen“



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen (DDA)

Das Engineering einer Anlage – sowohl bei der Erstellung einer Anlage als auch während der Betriebsphase – ist immer stärker durch Änderungen, die dann entsprechende Engineering-Entscheidungen erfordern, geprägt.

Wer in Deutschland in ein Flugzeug steigt, kann sich darauf verlassen, dass sich das Flugzeug in einem technisch einwandfreien Zustand befindet. Dies resultiert nicht zuletzt aus einer umfangreichen und detaillierten Planung und Dokumentation aller Arbeitsschritte daran, vom ersten Entwurf über jeden einzelnen Fertigungsschritt bis hin zum Betrieb. Aber auch alle durchgeführten Wartungs-, Instandhaltungs- und Überholungsarbeiten, bei denen Flugzeuge teilweise komplett demontiert werden, werden geplant und dokumentiert. Während der mehr als 20-jährigen Lebensdauer eines Flugzeugs werden zudem zahlreiche technische Neuerungen nachgerüstet, die teilweise tief in das ursprüngliche Engineering eingreifen. Bereits bei der Auslieferung erreicht die sogenannte Lebenslaufakte eines modernen Verkehrsflugzeugs einen Umfang von mehreren Kilometern. Im weiteren Leben kommt ein Vielfaches hinzu. Ähnlich verhält es sich bei Industrieanlagen (zum Beispiel Fabriken und Kraftwerken), die oftmals während ihrer Nutzung optimiert oder für neue Nutzungen umgebaut werden.

Dieses Szenario beschreibt, wie in einem initialen Engineering-Prozess zur Errichtung einer Anlage ein integrierendes Anlagenmodell entsteht, das dann über den Lebensweg der realisierten Anlage in permanent ineinandergreifenden Vorgängen zwischen Engineering, Betrieb und Service der Anlage gepflegt und konsistent gehalten wird. Dieses Modell beinhaltet also neben einem Abbild der realen Anlage mit ihrem Entstehungs- und Lebensweg auch Randbedingungen, Kontextinformationen, mögliche Varianten, denkbare und getroffene Engineering-Entscheidungen sowie deren potentielle und reale Auswirkungen. Auf dieser Basis können dann auch (neue) value-added Services entstehen. Der Kern dieses Anwendungsszenarios ist somit ein Strukturmodell, auf dem die beteiligten Partner adäquat aufsetzen können. Das Engineering von Anlagen wird zukünftig dynamischer in dem Sinne, dass Änderungen der Anlage häufiger und kurzfristiger werden und die dabei einzubindenden Partner verzahnter, vorausschauender und damit reflexiver (d. h. rückbezüglicher im Hinblick auf mögliche Konsequenzen von Änderungen) arbeiten müssen. Ein solches Modell ist die Voraussetzung für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit des Anlagenbaus und des Betriebs von Anlagen, vor allem in einem Umfeld stets steigender Anforderungen.

Inhaltlicher Fokus

Das Engineering einer Anlage – sowohl bei der Erstellung einer Anlage als auch während der Betriebsphase – ist immer stärker durch Änderungen, die dann entsprechende Engineering-Entscheidungen erfordern, geprägt. Diese Änderungen werden dynamischer, komplexer, vielschichtiger und müssen immer vorausschauender umgesetzt werden. Dazu zählen auch sich in Planungs- und Realisierungsphasen überholende Änderungen. So ist die Umsetzung einer Änderung an der physikalischen Anlage noch nicht abgeschlossen, während sich bereits eine weitere Änderung in der Planungsphase befindet, mit Auswirkungen auf die aktuelle Änderung. Das integrierende Modell ist der Hebel, um die dynamischer werdenden Entscheidungen durchgängig absichern zu können und so das Management der Änderungen beherrschbarer zu machen. Basierend auf dem zentralen Modell wird sich auch die Form des Arbeitens ändern. Das strikte Phasenmodell im Engineering wird aufgebrochen und aufgabenspezifisch zusammengestellte Projektteams werden agil und funktional-übergreifend

arbeiten. Das integrierende Modell beinhaltet einerseits ein Abbild der realen Anlage, sowohl im Hinblick auf die statische Struktur als auch die Betriebsdaten. Hinzu kommen Lebensweg-Informationen der Anlage bezüglich in der Vergangenheit durchgeführter Änderungen sowie potentieller Änderungen, die nicht durchgeführt wurden. Zusätzlich beinhaltet das Modell aber auch alle Randbedingungen (beispielsweise über die Entstehung des Modells), Kontextinformationen, mögliche Varianten und kann im Hinblick auf die Auswirkungen von potentiellen zukünftigen und bereits in der Vergangenheit getroffenen Engineering-Entscheidungen genutzt werden.

In der Vision ist offen, inwieweit sich dieses zentrale Modell zunehmend selbst erzeugt und optimiert (beispielsweise über intelligente Assistenten oder Automatismen, die basierend auf existierenden Lösungen Verknüpfungen erzeugen), oder ob letztendlich die Leistungsfähigkeit und Beurteilungskompetenz des Menschen der Hebel ist, ein „gutes“ zentrales Modell zu schaffen („gut“ im Hinblick auf den wirtschaftlichen Zusatznutzen durch das Modell an sich).



Auswirkung auf die Wertschöpfungsketten

Es sind zahlreiche Interessengruppen im Wertschöpfungsnetz zu betrachten:

- Integrator (im Sinne eines technischen Systemarchitekten) und Projektmanager, um aus technischer und kommerzieller Sicht die Umsetzung der Anforderungen sicherzustellen und die beteiligten Partner entsprechend zu koordinieren,
- Auftraggeber/Eigentümer, der die (sich auch mit der Zeit verändernden) Anforderungen an die Anlage vorgibt,
- Betreiber, der die Anlage nutzt und die sich verändernden Anforderungen im Betrieb berücksichtigt,
- Zulieferer in Form von Engineering-Dienstleistern, die in das Anlagenengineering direkt (Durchführen von Engineering-Tätigkeiten, „doing“) oder indirekt (Bereitstellen von Engineering-Methoden, „Know-how“) eingebunden werden, und Lieferanten bzw. Kontraktoren von (physischen) Komponenten, Systemen und Technologien (einschließlich deren digitalen Abbildern),
- Errichter, der auf der Baustelle resp. an der Anlage das Anlagenmodell bzw. die Änderungen am Modell des Engineerings in die Realität umsetzt,
- Regulatoren, die Vorgaben definieren und Genehmigungen erteilen, sowie Berater, die bei der Umsetzung dieser Vorgaben unterstützen, und letztlich
- Softwareanbieter in Form von Herstellern von Planungswerkzeugen und Kollaborationsplattformen, welche die einzelnen Ingenieure bei Engineering, Errichtung/Änderung, Betrieb und Instandhaltung unterstützen.

Zudem entstehen neue Rollen für den Aufbau und die Pflege des integrierenden Anlagenmodells sowie die Auswertung des Modells im Hinblick auf die Optimierung von Engineering, Errichtung/Änderung, Betrieb und Instandhaltung der Anlage.

Gleichzeitig wird sich die Wertschöpfung im derzeitigen Wertschöpfungsnetz verschieben. Die bereits heute beim Engineering von Anlagen Beteiligten werden ihre zukünftige Rolle im Wertschöpfungsnetz insbesondere unter dem

Gesichtspunkt, wie sie aus dem integrierenden Anlagenmodell zusätzliches Wertversprechen beispielsweise in Form verbesserter Absicherungen von Engineering-Entscheidungen generieren können, überdenken. Das integrierende Anlagenmodell ermöglicht es Engineering-Dienstleistern, die Kern-Wertschöpfung des Engineerings besser transparent zu machen und dadurch die eigene Position im Wertschöpfungsnetzwerk über alle Lebensphasen einer Anlage zu stärken.

Neue Dienstleistungen werden denkbar. Dies betrifft insbesondere Schulungs-, Coaching- und Beratungs-Leistungen rund um den Aufbau, die Pflege und die effiziente Nutzung des integrierenden Anlagenmodells, woraus neue Geschäftsmodelle entstehen werden. Der Aufbau des integrierenden Anlagenmodells und insbesondere das Verwalten und die Pflege des Modells über den gesamten Lebensweg der Anlagen bietet das Potential für neue Geschäftsmodelle und damit für einen eigenständigen Wertschöpfungsprozess. Neben der Herausforderung der Datenhoheit bzw. Dateneigentümerschaft ist hier insbesondere auch die Datenintegrität ein zentrales Thema. Ein besonderer Aspekt ist auch die Analyse und Auswertung des Modells, d. h. insbesondere die Analyse der Fern- und Nebenwirkungen von potentiellen und getroffenen Engineering-Entscheidungen während des Lebensweges einer Anlage, und die Vermarktung dieser Erkenntnisse.

Mehrwert für die Akteure

Dieses Anwendungsszenario adressiert somit in erster Linie strategische Aspekte, der Nutzen wird sich in der Regel nicht sofort im operativen Geschäft niederschlagen. Fokussiert wird die Skalierung des Engineerings in einem zunehmend dynamischen Umfeld unter den verschiedensten Spannungsfeldern (Strategie, Prozesse, Technologie, Wirtschaftlichkeit). Zudem werden Engineering-Entscheidungen inhaltlich besser abgesichert und eine nachhaltige Differenzierung durch gezielte Nutzung der Möglichkeiten des integrierenden Anlagenmodells angestrebt. Dieser technisch geprägte Ansatz führt zu einer Verbesserung der Wertschätzung für das Engineering.



Kreislaufwirtschaft (KRW)

Hochwertige Wiederverwertung von Materialien aus der industriellen Fertigung über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts.

Schon heute fallen weltweit jeden Tag 3,5 Millionen Tonnen Abfall an. Bis zum Jahr 2025 wird sich diese Menge trotz aufwändiger Recyclingverfahren auf 6 Millionen Tonnen weiter vergrößern und bis zum Jahr 2100 geht man sogar von über 11 Millionen Tonnen Abfall pro Tag alleine im Bereich der Feststoffe aus. Neben dem Ressourcenverlust wichtiger Rohstoffe (beispielsweise sogenannter Seltener Erden) führt diese Entwicklung vor allem zu einer zunehmenden Verschmutzung des Bodens, der Luft und des Wassers. Als Reaktion auf diese Entwicklung hat die Europäische Union (EU) im Rahmen ihres 7. Umweltaktionsprogramms einen Aktionsplan zur Schaffung einer Kreislaufwirtschaft vorgestellt.

Inhaltlicher Fokus

Das Anwendungsszenario „Kreislaufwirtschaft“ beschreibt, wie sich industrielle Prozesse an den Kreisläufen der Natur orientieren können, wo wertvolle Nährstoffe von der „Wiege bis zur Bahre“ wiederverwertet werden. In einem ebensolchen „Cradle to Cradle“-Ansatz sollen in der Kreislaufwirtschaft alle Materialien, die bei Produkten und Produktionsprozessen verwendet werden, kontinuierlich in geschlossenen biologischen und technologischen Nähr-

stoffkreisläufen zirkulieren. Für die Industrie hat dies zur Folge, dass bereits bei Beginn des Lebenszyklus eines Produkts über die Wiederverwendbarkeit der benutzten Materialien nachgedacht werden muss. So wird schon im Design festgelegt, wie das Produkt in wiederverwendbare Komponenten zerlegt werden kann und wie und in welcher Form die Materialien der Wiederverwertung zugeführt werden können. Beim klassischen Recycling werden Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen zur Wiederverwertung aufbereitet, in deren Folge sich die Qualität des Materials verändert und häufig nicht mehr seinem ursprünglichen Zweck wie bei der Primärherstellung nachkommen kann (beispielsweise bei Kunststoff). Dieser Vorgang wird als Downcycling bezeichnet, wohingegen beim Upcycling aus Abfallstoffen sogar hochwertigere Produkte hergestellt werden können. In der Kreislaufwirtschaft liegt daher der Fokus auf:

- Remanufacturing: Überholung von ganzen Produkten durch vollständige Zerlegung und teilweisen Austausch von einzelnen Komponenten
- Reuse: Wiederverwendung von genutzten, aber voll funktionsfähigen Komponenten, Produkten und Maschinen
- Repair: Beschädigte Komponenten werden wieder in den funktionierenden Zustand gebracht
- Upcycling: Aufbereitung der Rohstoffe und Materialien, so dass qualitativ höherwertige Produkte entstehen

Damit sollen der Beitrag der Industrie zum EU-Aktionsplan zur Erreichung einer Kreislaufwirtschaft gewährleistet werden und durch die konsequente Wiederverwendung von Materialien und Komponenten in gleicher oder höherer Qualität, neben der Reduzierung von Abfall, auch der CO₂-Ausstoß in der industriellen Fertigung sowie Kosten in der Produktion minimiert werden.

Um dieses Ziel zu erreichen, können besonders Technologien im Kontext von Industrie 4.0 (Sensorik, Vernetzung, etc.) als Unterstützung bei dem Rückgabe- und Rückführungsprozess und der Wiederverwendbarkeit von Komponenten, Produkten und Maschinen fungieren. So können einzelne smarte Komponenten oder Produkte mit RFID-Technologie eindeutig identifiziert und mit zusätzlichen Informationen wie beispielweise Herstellerinformationen, Materialzusammensetzung, Möglichkeiten der Wiederverwendung und durchschnittliche Lebensdauer versehen werden. Die Maschinen, in denen die Komponenten verbaut sind, können diese in Echtzeit überwachen und im Falle des Funktionsausfall ein Ersatzteil bestellen und die Rücknahme des defekten Teils anstoßen. Aufgrund der im Teil gespeicherten Informationen kann das Teil direkt an den entsprechenden Verwerter transportiert und dort nach einer der oben genannten Möglichkeiten wiederverwendet werden.

Neue Geschäftsmodelle sind denkbar und neue Trends zu erwarten. Die Nachfrage der Kunden könnte sich künftig an solchen nachhaltigen Produkten orientieren und beispielsweise die Zertifizierung von Produkten nach dem „Cradle to Cradle“-Prinzip notwendig machen. So ausgezeichnete Produkte weisen nach, dass die Nachhaltigkeit in Form von sehr hoher Wiederverwertbarkeit von Komponenten, der Verwendung nachhaltiger Energiequellen bei der Produktion und dem Schutz der Natur gegeben ist. Viele Unternehmen folgen schon heute zunehmend selber dem Nachhaltigkeitsprinzip, sei es als Teil der Unternehmensphilosophie oder um steigende Kosten für knappe Ressourcen wie z. B. seltene Erden zu kompensieren und sich von Grundrohstofflieferanten unabhängig zu machen. Werden einzelne Komponenten durch Remanufacturing, Reuse, Repair und Refurbishment wiederverwendet, führt diese Fokussierung zur Senkung von Material- und Betriebskosten sowie einem geringeren Energiebedarf, so dass derzeitige Kosten für Recycling und Entsorgung von z. B. Altgeräten künftig zu zirkulierenden Einnahmen im Wertschöpfungsprozess umgewandelt werden. Nicht zuletzt können weitere gesetzliche Vorgaben und Richtlinien maßgebliche Treiber einer solchen Entwicklung sein.

Für produzierende Unternehmen eröffnen sich zudem neue Potentiale. Geschäftsmodelle wie „Product as a Service“ entstehen, sowohl für Industriemaschinen als auch für Verbrauchergeräte wie beispielsweise Waschmaschinen. Kunden wollen schon heute oft keine Produkte mehr kaufen, sondern nur deren Funktionen nutzen und dafür flexibel bezahlen. Folglich werden in immer mehr Branchen Produkte geleast oder gemietet, vor allem in Branchen mit kurzen Innovations- und Produktzyklen wie beispielsweise dem Informations- und Kommunikationssektor. Hersteller können diesen neuen Denkansatz nutzen und über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts Eigentümer der verwendeten Rohstoffe und Komponenten bleiben. Diese werden künftig wiederverwendet und somit die Entnahme von neuen Rohmaterialien aus der Umwelt minimiert, im besten Fall sogar ganz vermieden.

Auswirkung auf die Wertschöpfungsketten

Alleine der Goldanteil in einer Tonne Elektroschrott ist mehr als 30-mal höher als in einer Tonne Abraum einer Goldmine – die konsequente Wiederverwertung von Rohstoffen lohnt also in vielerlei Hinsicht, so dass mit Hilfe sogenannter „Closed-Loop Supply Networks“, also Wiederverwertungsnetzwerken, kostbare Materialien innerhalb der Wertschöpfungsketten verbleiben können. „Closed-Loop Supply Networks“ bestehen aus zahlreichen Teilnehmern über die ganze Wertschöpfungskette hinweg – vom Designer, dem Produzenten bis zum Material-Broker – wodurch jeder Wertschöpfungsteilnehmer Zulieferer von einem anderen Teilnehmer des Wertschöpfungsnetzwerks werden kann.

Mehrwert für die Akteure

Mit Hilfe der Digitalisierung und der Lebenszyklusorientierung bei der vollständigen Wiederverwertung von Materialien schafft die „Kreislaufwirtschaft“ eine Grundlage für die materialeffiziente und damit kostengünstige Produktion sowie eine konsequente Ressourceneinsparung über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg. Neben der damit verbunden Kostensenkung wird der Ausstoß von klimafährdenden Stoffen (wie beispielsweise CO₂) bei der Produktion verringert, womit ein Beitrag zum Erreichen der Zielvorgaben des globalen Klimaschutzes geleistet wird.

Welche Themen der Forschungsroadmap haben eine besonders hohe Relevanz für die Umsetzung der Anwendungsszenarien?

Die Anwendungsszenarien wurden von der AG2 der Plattform Industrie 4.0 genutzt, um vorrangige Forschungsthemen zu identifizieren und in Form von Handlungsempfehlungen an die Politik zu formulieren.

Beschreibung der Forschungsroadmap

Um die Ziele von Industrie 4.0 zu erreichen, sind insbesondere auch Forschung und Entwicklung notwendig. Die AG3 „Forschung und Innovation“ der Verbände-Plattform hat hierfür in Abstimmung mit dem Wissenschaftlichen Beirat den Bedarf formuliert und ihn inhaltlich und zeitlich strukturiert.

Zur Hannover Messe Industrie 2015 wurde ein Whitepaper veröffentlicht, siehe [10], das die aus Sicht der Industrie

vorrangigen FuE-Themen einschließlich einer Roadmap beschreibt. Neben der Definition der Themen und ihrer genauen Beschreibung gibt das Papier nicht nur Hinweise zu den notwendigen Voraussetzungen und gegenseitigen Abhängigkeiten, sondern benennt auch die konkreten Ergebnisse, die erreicht werden sollen. Es versucht auch, Realisierungszeiträume für die einzelnen Entwicklungsphasen grob abzuschätzen.

Das Whitepaper formuliert damit die Kernthemen von Industrie 4.0 aus Sicht der Plattform Industrie 4.0 unter dem Gesichtspunkt „Forschung und Innovation“. Naturgemäß ist diese Roadmap eine Momentaufnahme, die insbesondere die FuE-Aktivitäten auf dem Weg zu Industrie 4.0 begleiten soll und kontinuierlich im Dialog mit der Wissenschaft weiterentwickelt wird.

Abbildung 13: Forschungsroadmap im Überblick



Quelle: Plattform Industrie 4.0

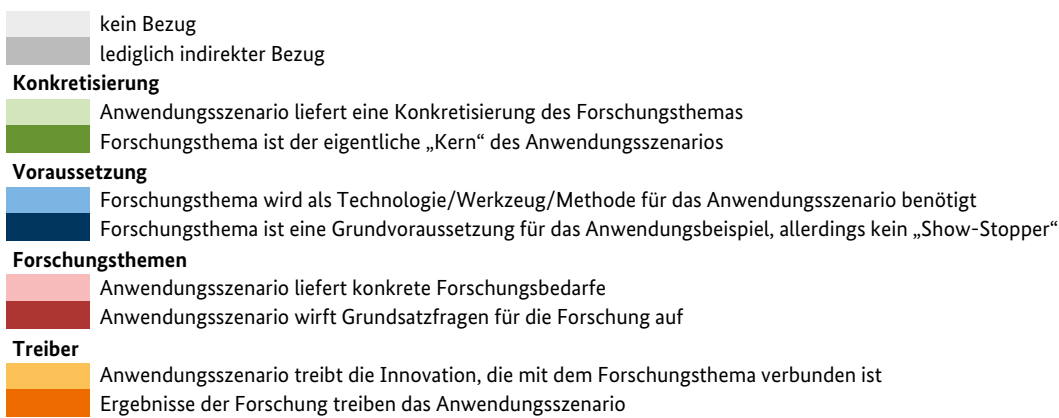
Nach mehr als einem Jahr ist die AG2 der Plattform Industrie 4.0 der Überzeugung, dass diese Forschungsroadmap sowohl bezüglich ihrer Struktur als auch bezüglich ihrer inhaltlichen Kernaussagen immer noch aktuell ist.¹

Durch die Abbildung der Anwendungsszenarien auf die Forschungsroadmap werden aber einige der in der Forschungsroadmap recht abstrakt beschriebenen Themen griffiger. Zusätzlich liefern die Anwendungsszenarien Impulse für eine mögliche Verfeinerung verschiedener Themensteckbriefe der Forschungsroadmap. Dies ist in der Langfassung

der Szenariobeschreibungen (siehe Anhang: Langfassungen der Anwendungsszenarien) entsprechend ausgeführt.

Welcher Bezug besteht zwischen den Anwendungsszenarien und der Forschungsroadmap?

Die verschiedenen Anwendungsszenarien wurden durch die AG2 im Hinblick auf ihren Bezug zu den einzelnen Themen der Forschungsroadmap bewertet. Dabei wurde das folgende Bewertungsschema zugrunde gelegt:



Das folgende Bild zeigt die qualitative Bewertung im Überblick, die konkrete Beschreibung des Bezugs ist in der Lang-

fassung der Anwendungsszenarien detailliert beschrieben (siehe Anhang: Langfassungen der Anwendungsszenarien).

Abbildung 14: Abbildung der Anwendungsszenarien auf die Forschungsroadmap im Überblick

	AGP	WFF	SAL	VBS	TWP	MTI	SP2	IPE	DDA
Methoden für neue Geschäftsmodelle	Light Green	Light Green	Medium Grey	Light Blue	Light Green	Light Blue	Light Green	Light Green	Light Green
Framework Wertschöpfungsnetzwerke	Light Green	Light Green	Light Green	Light Blue	Light Green	Light Blue	Light Green	Light Green	Light Green
Automatisierung von Wertschöpfungsnetzwerken	Dark Green	Dark Red	Light Green	Yellow	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Dark Blue
Integration von realer und virtueller Welt	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green
Systems Engineering	Light Blue	Dark Red	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green
Sensornetze	Medium Grey	Medium Grey	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green
Intelligenz – Flexibilität – Wandelbarkeit	Dark Green	Dark Red	Dark Red	Medium Grey	Dark Green	Orange	Yellow	Medium Grey	Yellow
Multimodale Assistenzsysteme	Light Green	Medium Grey	Light Green	Light Green	Light Green	Dark Green	Light Green	Light Green	Light Green
Technologieakzeptanz und Arbeitsgestaltung	Light Green	Medium Grey	Dark Red	Light Green	Light Blue	Dark Green	Light Green	Medium Grey	Light Green
Netzkommunikation für Industrie 4.0-Szenarien	Medium Grey	Yellow	Dark Blue	Medium Grey	Light Blue	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green
Mikroelektronik	Medium Grey	Medium Grey	Light Blue	Medium Grey	Medium Grey	Medium Grey	Medium Grey	Medium Grey	Medium Grey
Safety, Privacy & Security	Light Green	Light Green	Medium Grey	Light Blue	Light Green	Dark Red	Yellow	Dark Blue	Light Green
Datenanalyse	Light Green	Medium Grey	Light Green	Yellow	Light Blue	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green
Semantik und Syntax für Industrie 4.0	Light Blue	Dark Blue	Light Blue	Light Blue	Light Blue	Dark Red	Medium Grey	Medium Grey	Light Green

Quelle: Plattform Industrie 4.0

Auf Basis dieser Bewertung wurden von der AG2 der Plattform Industrie 4.0 Schlussfolgerungen in Form von

Handlungsempfehlungen an die Politik formuliert, die im nächsten Kapitel beschrieben sind.

1 Inzwischen wurde die Forschungsroadmap gemeinsam von der AG2 und dem wissenschaftlichen Beirat der Plattform Industrie 4.0 zu einer Forschungsagenda Industrie 4.0 überarbeitet, siehe [11].



Welche Forschungsthemen müssen zur Umsetzung der Anwendungsszenarien vorrangig angegangen werden?

Durch Abbildung der Anwendungsszenarien auf die Forschungsroadmap hat die AG2 der Plattform Industrie 4.0 fünf Forschungsfelder identifiziert, die eine besonders hohe Relevanz für die Umsetzung der Anwendungsszenarien haben. Eine Langfassung der vorrangigen Forschungsthemen findet man in [11]:

Durch gemeinsame Forschungsanstrengungen der Unternehmen und die gezielte Unterstützung durch eine wirksame Forschungsförderung sollten in den genannten Bereichen zügig Fortschritte erzielt werden, um so die gute Ausgangslage der deutschen Unternehmen bei Industrie 4.0 zu nutzen und weiter auszubauen.

Welche Bezüge bestehen zwischen den Anwendungsszenarien und anderen „Use Cases“?

In diesem Abschnitt werden Bezüge der Anwendungsszenarien der AG2 der Plattform Industrie 4.0 zu anderen Use-Case-basierten Ansätzen aufgezeigt.

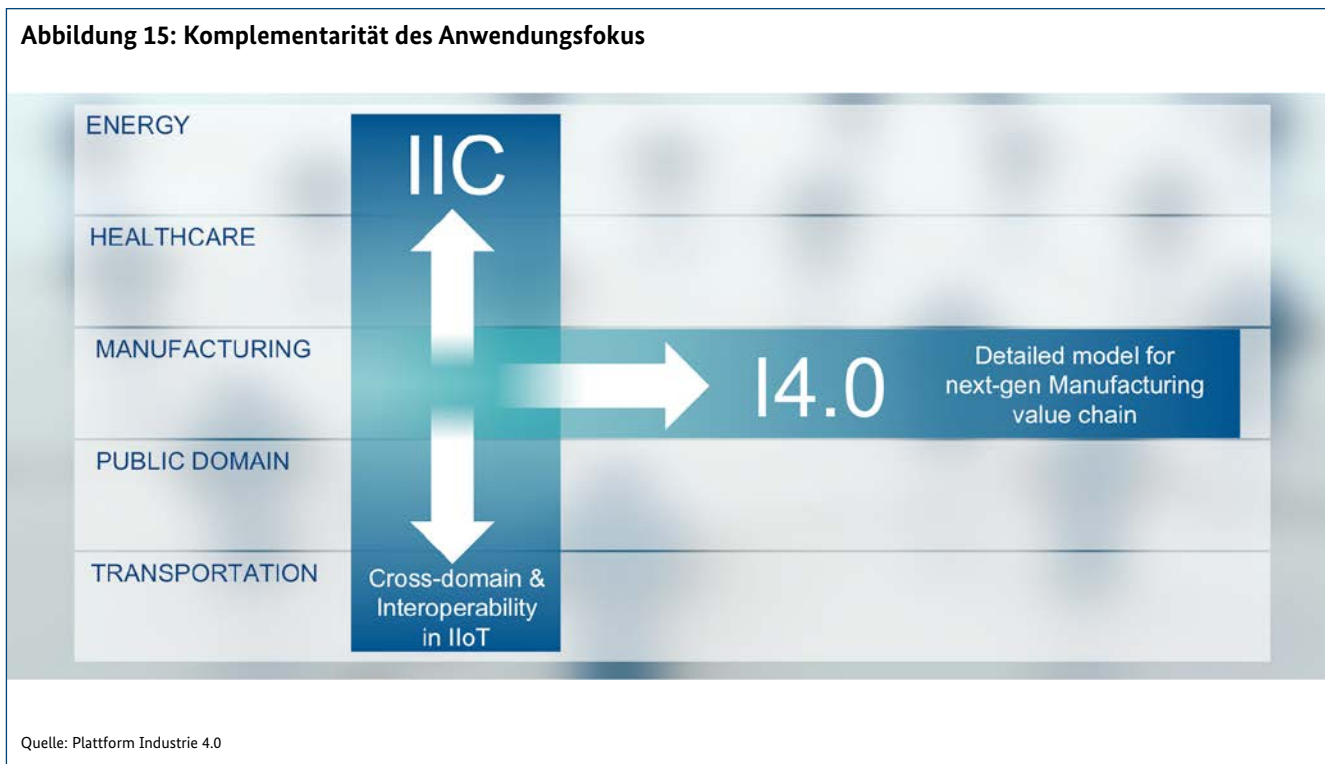
- Zum einen gibt es Anwendungsbeispiele der Smart Service Welt, siehe [7], und zum anderen Testbeds des Industrial Internet Consortium (IIC), siehe [13]. Da hier bezüglich der konzeptionellen Beschreibung der Problemstellung eine hohe Gemeinsamkeit vorliegt, wurden diese im Hinblick auf den adressierten Anwender und inhaltliche Bezüge gegenübergestellt.
- Es gibt verschiedene Arbeiten und Vorschläge zu Use Cases im Kontext von Industrie 4.0. Konkret wurden die Arbeiten des ZVEI, siehe [14], von Dr. Tauchnitz (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH), siehe [15], und von BCG (The Boston Consulting Group), siehe [16], betrachtet. Diese Use Cases wurden inhaltlich in Bezug gesetzt zu den Anwendungsszenarien der AG2 der Plattform Industrie 4.0.

Auch wurde ein Vorab-Arbeitsstand der Anwendungsszenarien der AG2 der Plattform Industrie 4.0 von einer Projektgruppe „Marktsegmentierung“ des bitkom genutzt, eine empirische Grundlage für die Beurteilung des Status quo und Perspektiven der Umsetzung von Industrie 4.0 zu entwickeln, siehe [12].

Plattform Industrie 4.0, Smart Service Welt und Industrial Internet Consortium

Primäres Ziel der nachfolgenden Gegenüberstellungen ist es, die sogenannte „T-Folie“ gemäß Abbildung 15 zu konkretisieren.

Abbildung 15: Komplementarität des Anwendungsfokus



Quelle: Plattform Industrie 4.0

Den betrachteten Beschreibungen der verschiedenen Initiativen liegen vergleichbare Strukturen zugrunde, die in Tabelle 1 gegenübergestellt sind. Die erste Spalte (Kategorien) zeigt eine allgemeine Struktur und in den nächsten Spalten ist angegeben, wie sich die spezifischen Beschreibungsblöcke auf diese allgemeine Struktur abbilden lassen. Blaue Schrift deutet an, dass sich die entsprechenden Inhalte nicht explizit in den Beschreibungen, sondern an anderer Stelle befinden bzw. vorbesetzt sind.

Tabelle 2 illustriert diese Kundenfokussierung basierend auf dem International Standard Industrial Classification (ISIC), siehe [17]. Dunkelblau bedeutet eine Adressierung des entsprechenden Marktsegments, hellblau kennzeichnet unterschiedliche indirekte Effekte, konkret:

- den Logistik-Aspekt im Anwendungsszenario „SAL – Selbstorganisierende adaptive Logistik“

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Beschreibungsstrukturen

Kategorien	Industrie 4.0	Smart Service Welt	IIC Testbeds
Ziel	Leitmotiv / Motivation	siehe Bericht [7]	goal
Potentiale	Disruptives Potential Treiber	siehe Bericht [7]	challenge
Beschreibung	Beschreibung Herausforderungen	Einordnung in den Kontext der Smart Service Welt	features solution
Marktsegment	produzierende Industrie	im Titel	market segment
Wertschöpfungsnetz, Ökosystem	Wertschöpfungsnetzwerk Auswirkungen auf Wertschöpfungsketten	Ökosystem Wertschöpfungsnetz heute Wertschöpfungsnetz morgen	lead member supporting members
Wertversprechen	Nutzen	Wertversprechen	commercial benefits

Anwendungsbeispiele der Smart Service Welt

Die Anwendungsbeispiele der Smart Service Welt haben den gleichen Charakter wie die Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0. Beide fokussieren auf den *Problembereich*.

Ein grundsätzlicher Unterschied besteht jedoch darin, dass die Plattform Industrie 4.0 als Anwender auf die produzierende Industrie (einschließlich damit verbundener Dienstleistungen) fokussiert, während die Smart Service Welt bezüglich der Anwender breiter aufgestellt ist.

- das Prinzip der Anwendungsszenarien „VBS – Value Based Services“ und „TWP – Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte“ kann auch in Branchen außerhalb der produzierenden Industrie zur Anwendung kommen
- die generelle Einbeziehung von Dienstleistern in die Wertschöpfungsnetze

Tabelle 3: Inhaltliche Abbildung der Smart Service Welt auf Anwendungsszenarien Industrie 4.0

	AGP	WFF	SAL	VBS	TWP	MTI	SP2	IPE	DDA
	Auftragsgesteuerte Produktion	Wandlungsfähige Fabrik	Selbstorganisierende adaptive Logistik	Value Based Services	Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte	Mensch-Technik-Interaktion in der Produktion	Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion	Innovative Produktentwicklung	Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen
Smart Production Services (Siemens)									
Smart Production Services (Trumpf)									
Smart Logistic Services									
Smart Energy Services									
Smart Farming Services									
Smart Healthcare Services									

Inhaltlich beschreiben die beiden Anwendungsszenarien „VBS – Value Based Services“ und „TWP – Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte“ wesentliche Aspekte der Smart Service Welt, siehe Tabelle 3, bezüglich der anderen Anwendungsszenarien gibt es lediglich indirekte inhaltliche Bezüge. Durch die hellblaue Farbe wird hier angezeigt, dass die adressierten Anwendungsbereiche außerhalb der produzierenden Industrie liegen.

Testbeds des Industrial Internet Consortium

Das IIC hat 17 Testbeds (Stand Juni 2016) definiert, siehe [13]. Ein Testbed ist eine gesteuerte Experimentier-Plattform, auf der

- spezifische Use Cases und Szenarien implementiert werden,
- testbare Ergebnisse produziert werden zur Bestätigung, dass eine Implementierung erwarteten Ergebnissen entspricht,
- ungetestete oder existierende Technologien im Zusammenspiel exploriert werden (Testen der Interoperabilität),
- neue (und potentiell disruptive) Produkte und Dienstleistungen generiert werden,
- Anforderungen und Prioritäten für Standardisierungsorganisationen, die das „Industrial Internet“ unterstützen, generiert werden.

Insofern geht der Scope von IIC Testbeds über den Scope der Anwendungsszenarien hinaus. Während in Anwendungsszenarien lediglich ein Problembereich beschrieben wird, erfolgt bei IIC Testbeds – neben der Beschreibung des Problems – auch eine Umsetzung in Form einer Implementierung.

Genauso wie die Smart Service Welt fokussiert das IIC nicht auf Anwendungen in der produzierenden Industrie. Die nachfolgende Darstellung illustriert die durch die Testbeds adressierten Anwender basierend auf der ISIC-Klassifizierung. Dabei ist zu bemerken, dass es auch Testbeds gibt, die „rein“ IT-technologische Problemstellungen adressieren. Diese sind in Tabelle 4 durch eine graue Markierung symbolisiert. Hellblau signalisiert hier, dass die Adressierung nur eingeschränkt zutrifft.

Inhaltlich sind die Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 (mit Ausnahme von „VBS – Value Based Services“ und „TWP – Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte“) auf einer „tieferen“ Ebene, siehe Tabelle 5, und adressieren in der Regel als Kunden eine konkrete Firma², während der Schwerpunkt der IIC Testbeds mehr auf

der Kollaboration zwischen verschiedenen Anwendergruppen liegt³. Die Anwendungsszenarien „VBS – Value Based Services“ und „TWP – Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte“ sind diesbezüglich aber vergleichbar mit den IIC Testbeds, wobei durch eine hellblaue Farbe angedeutet wird, dass die Zuordnung nur eingeschränkt gültig ist.

Tabelle 5: Abbildung der Testbeds des IIC auf die Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0

	AGP	WFF	SAL	VBS	TWP	MTI	SP2	IPE	DDA
	Auftragsgesteuerte Produktion	Wandlungsfähige Fabrik	Selbstorganisierende adaptive Logistik	Value Based Services	Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte	Mensch-Technik-Interaktion in der Produktion	Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion	Innovative Produktentwicklung	Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen
Asset Efficiency Testbed									
Condition Monitoring & Predictive Maintenance Testbed									
Connected Care Testbed									
Edge Intelligence Testbed									
Factory Operations Visibility & Intelligence Testbed									
High Speed Network Infrastructure Testbed									
Industrial Digital Thread Testbed									
INFINITE Testbed									
Intelligent Urban Water Supply Testbed									
Communication & Control Testbed For Microgrid Applications									
Precision Crop Management Testbed									
Security Claims Evaluation Testbed									
Smart Airline Baggage Management Testbed									
Energy Management Testbed									
Time Sensitive Networking (TSN) Testbed									
Track And Trace Testbed									
Smart Water Management Testbed									

2 Allerdings lassen sich die meisten Anwendungsszenarien abbilden auf eine spezifische IoT-Anwendung, wenn diese bezüglich technischer Lösungsansätze wie Marktplätze oder Kollaborationsplattformen ausgeweitet werden.

3 Aus diesem Grund entwickelt das IIC eine „Emerging IIC Verticals Taxonomy Landscape“, siehe [18], und löst sich damit von den „klassischen“ Markt-Klassifikationen wie ISIC und ähnliche.

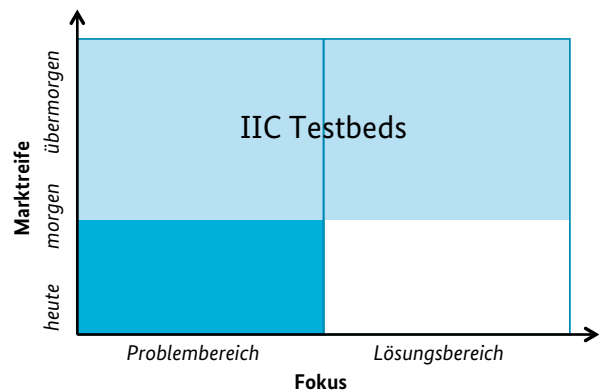
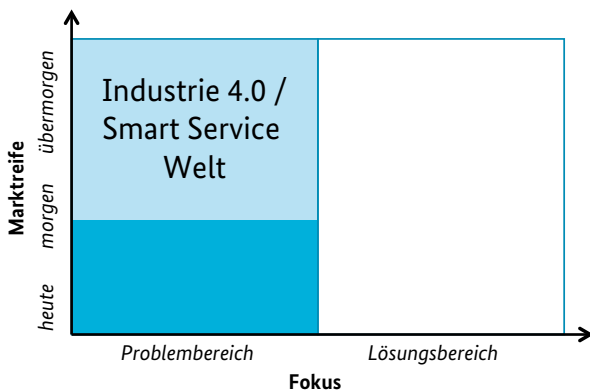
Zusammenfassung

Abbildung 16 zeigt zusammenfassend die Positionierung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0, der Anwendungsbeispiele der Smart Service Welt und der IIC Testbeds.

Die Anwendungsszenarien „VBS – Value Based Services“ und „TWP – Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte“ liegen im Schnitt des Ts in Abbildung 15.

Abbildung 16: Zusammenfassende Darstellung der Positionierung

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
	Agriculture, forestry and fishing	Mining and quarrying	Manufacturing	Electricity, gas, steam and air conditioning supply	Water supply; sewerage, waste management and remediation activities	Construction	Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles and motorcycles	Transportation and storage	Accommodation and food service activities	Financial and insurance activities	Information and communication	Real estate activities	Professional, scientific and technical activities	Administrative and support service activities	Public administration and defense, compulsory social security	Education	Human health and social work activities	Arts entertainment and recreation	Other service activities	Activities of households as employers; undifferentiated goods - and service - producing; activities of households for own use	Activities of extraterritorial organizations and bodies
Plattform Industrie 4.0																					
Smart Service Welt																					
IIC Testbeds																					



Industrie 4.0 Use Cases

Es gibt verschiedene Arbeiten und Vorschläge zu Use Cases im Kontext von Industrie 4.0. Konkret werden hier die Arbeiten des ZVEI, siehe [14], von Dr. Tauchnitz (Sanofi-Aventis Deutschland GmbH), siehe [15], und von BCG (The Boston Consulting Group), siehe [16], in Beziehung gesetzt zu den Anwendungsszenarien der AG2 der Plattform Industrie 4.0. Dabei wurde die folgende Erweiterung vorgenommen:

- Es wurde eine weitere Spalte „MES – Klassische Produktionssystem-Optimierung“ ergänzt. Der Grund hierfür liegt darin, dass einige Use Cases Aspekte beschreiben, die man eher einer klassischen Optimierung von Produktionssystemen zuordnen würde, wozu oft auch typische MES-Systeme am Markt verfügbar sind. Allerdings sind solche Systeme noch längst nicht bei allen Firmen

im Einsatz und insofern besteht hier ein entsprechend hohes Innovationspotential. Gewisse Aspekte einer Produktionssystem-Optimierung findet man zwar auch in einigen Anwendungsszenarien, allerdings ist es nicht zielführend, einen eher „klassischen“ Ansatz mit einem eher „visionsgetriebenen“ Ansatz zu verwässern. In den Tabellen ist dies jeweils durch eine graue Kennzeichnung in der letzten Spalte symbolisiert.

Natürlich kann eine Abbildung nicht absolut scharf, sondern nur eine grobe Bewertung sein. Um gewisse Abstufungen bezüglich der Bewertung zu verdeutlichen, wurden dunkelblaue (trifft wesentliche Aspekte des Anwendungsszenarios) und hellblaue (trifft Aspekte des Anwendungsszenarios) Kennzeichnungen gewählt.

Gesamtübersicht

Abbildung 17 zeigt zusammenfassend eine Verteilung der verschiedenen Use Cases auf die Anwendungsszenarien der AG2 der Plattform Industrie 4.0. Dabei wurde die folgende Normierung vorgenommen:

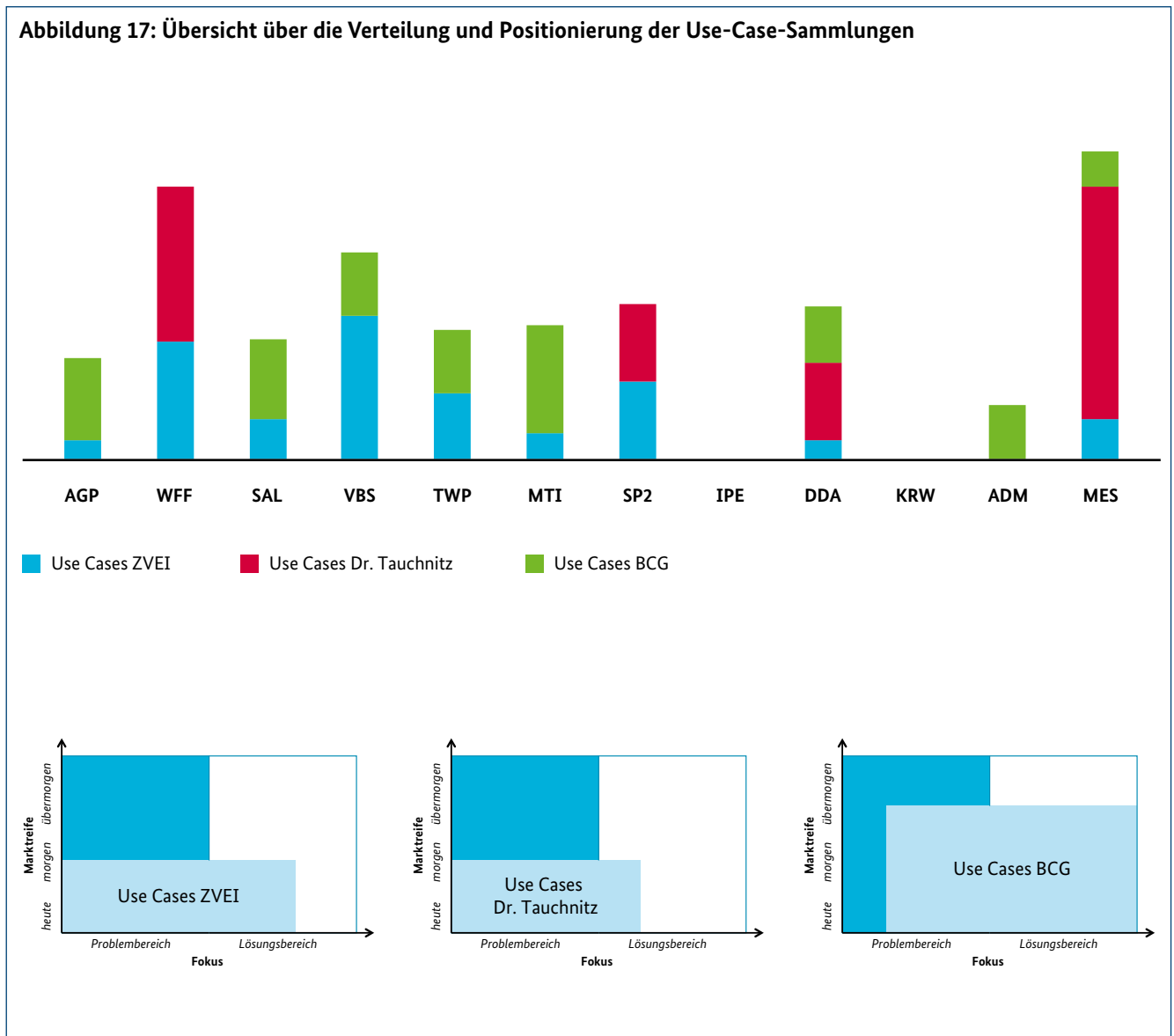
- Jede der drei Use-Case-Sammlungen (ZVEI, Dr. Tauchnitz, BCG) hat das gleiche Gewicht in der Darstellung.
- Innerhalb einer Use-Case-Sammlung trägt jeder einzelne Use Case in Summe zu den Anwendungsszenarien mit dem gleichen Gewicht bei.

Die starke Verteilung auf das Thema „MES“ lässt sich dadurch erklären, dass die meisten Use Cases den Anspruch

haben, kurzfristig umsetzbar zu sein. Insofern besteht keine Notwendigkeit, ein neues Anwendungsszenario mit Fokus auf „MES“ zu definieren, da die Anwendungsszenarien der AG2 der Plattform Industrie 4.0 ja stärker auf die Zukunft fokussieren.

Das Anwendungsszenario „IPE – Innovative Produktentwicklung“ wird in den verschiedenen Use-Case-Sammlungen nicht adressiert. Trotzdem sehen sowohl die AG2 der Plattform Industrie 4.0 als auch der Wissenschaftliche Beirat dies als ein wichtiges Anwendungsszenario an.

Wie bereits erwähnt wurde mittlerweile beschlossen, das Anwendungsszenario „KRW – Kreislaufwirtschaft“ nicht mehr weiterzuentwickeln.



Anhang: Langfassungen der Anwendungsszenarien

Die jeweils aktuellen Langfassungen der Anwendungsszenarien können per E-Mail an geschaeftsstelle@plattform-i40.de bei der Geschäftsstelle der Plattform Industrie 4.0 angefordert werden.

Referenzen

- [1] Aspekte der Forschungsroadmap in den Anwendungsszenarien,
<http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/anwendungsszenarien-auf-forschungsroadmap.html>
- [2] Landkarte Industrie 4.0,
<http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/In-der-Praxis/Karte/karte.html>
- [3] Memorandum der Plattform Industrie 4.0,
http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/memorandum-der-plattform-industrie-4-0.pdf?_blob=publicationFile&v=5
- [4] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik: Industrie 4.0 Statusbericht Wertschöpfungsketten, April 2014,
https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/sk_dateien/VDI_Industrie_4.0_Wertschoepfungsketten_2014.pdf
- [5] Das Referenzarchitekturmodell RAMI 4.0 und die Industrie 4.0-Komponente,
<http://www.zvei.org/Themen/Industrie40/Seiten/Das-Referenzarchitekturmodell-RAMI-40-und-die-Industrie-40-Komponente.aspx>
- [6] A. Fay et al: Welche zusätzlichen Anforderungen stellt Industrie 4.0 an die Leittechnik, 2. VDI Fachtagung Industrie 4.0, 29. Januar 2015
- [7] Smart Service Welt – Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft,
<http://www.acatech.de/smart-service-welt>
- [8] Forschungsprojekt „Automation für wandlungsfähige Produktionstechnik“ im Spitzencluster it's OWL,
<http://www.smartengineeringandproduction.de/>
und im Testbed „Smart Engineering and Production 4.0“,
<http://www.smartengineeringandproduction.de/>
- [9] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik: Statusreport „Anwendungsszenario DDA – Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen“, November 2016,
<http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/vdi-statusreport-engineering.html>
- [10] Industrie 4.0 Whitepaper FuE-Themen,
<http://www.zvei.org/Downloads/Automation/Whitepaper-I40-FuE-Themen-2015-04.pdf>

- [11] Forschungsagenda Industrie 4.0 – Update des Forschungsbedarfs,
<http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/In-der-Praxis/Online-Bibliothek/online-bibliothek.html;jsessionid=9BD49EBD6FA3BEB464A386F590870E4E>
- [12] Bitkom: Industrie 4.0 – Status und Perspektiven (Studie), 2016,
<https://www.bitkom.org/Publikationen/2016/Leitfaden/Industrie-40-Status-und-Perspektiven/160421-LF-Industrie-40-Status-und-Perspektiven.pdf>
- [13] Industrial Internet Consortium – Testbeds,
<http://www.iiconsortium.org/test-beds.htm>
- [14] ZVEI: Führungskreis Industrie 4.0 – Use Cases Dokumentation, zur internen Verwendung
- [15] T. Tauchnitz: Engineering, Prozessdaten, Anlagendaten, Industrie 4.0 – alles wächst zusammen; GMA-Kongress 2016, Baden-Baden
- [16] BCG (The Boston Consulting Group): Man and Machine in Industry 4.0 – How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025,
<https://www.bcgperspectives.com/content/articles/technology-business-transformation-engineered-products-infrastructure-man-machine-industry-4/>
- [17] International Standard Industrial Classification (ISIC),
<http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regcst.asp?Cl=27>
- [18] The Emerging IIC Verticals Taxonomy Landscape,
<https://www.iiconsortium.org/news/joi-articles/2016-June-The-Emerging-IIC-Verticals-Taxonomy-Landscape.pdf>

AUTOREN:

Das vorliegende Papier fasst Ergebnisse der Arbeitsgruppe „Forschung und Innovation“ der Plattform Industrie 4.0 zusammen. Beigetragen haben dazu die nachfolgend genannten Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl | Klaus Bauer | Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl | Dr. Bernhard Diegner | Johannes Diemer | Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay | Dietmar Goericke | Dr.-Ing. Jürgen Grotepass | Claus Hilger | Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jasperneite | Johannes Kalhoff | Prof. Dr. Uwe Kubach | Dr. Ulrich Löwen | Georg Menges | Dr. Jan Stefan Michels | Fabian Schmidt | Dr. Thomas Stiedl | Prof. Dr. Michael ten Hompel | Dr. Christian Zeidler

