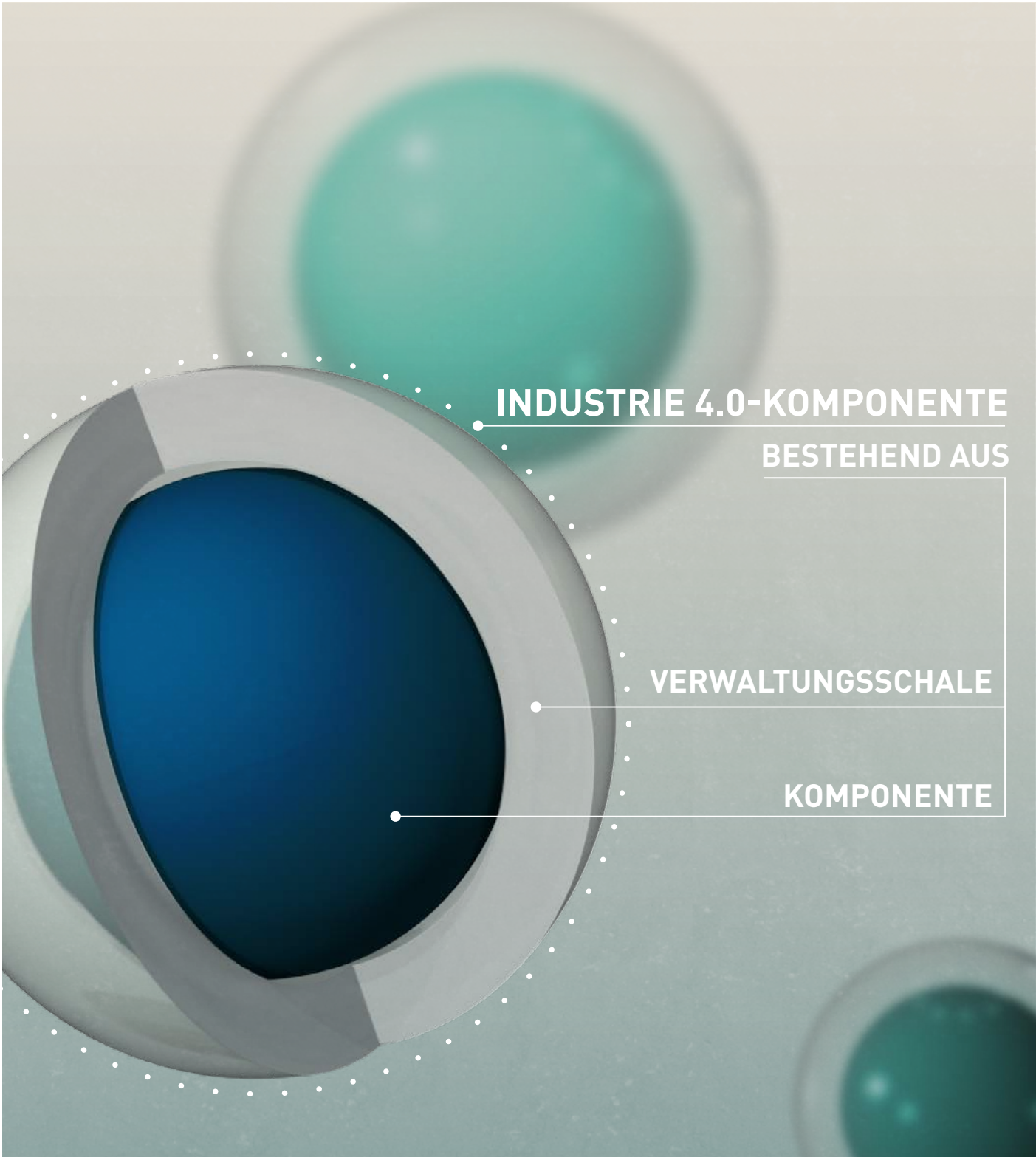




INDUSTRIE 4.0-KOMPONENTE

BESTEHEND AUS

VERWALTUNGSSCHALE

KOMPONENTE

Exemplarische Übertragung der
RAMI 4.0-Verwaltungsschale auf die *SmartFactory*^{KL}-
Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen

Whitepaper SF-2.1: 04/2017

smartFactory^{KL}®

Inhaltsverzeichnis

Abstract
Die Arbeitsgruppe 2 „Digitale Fabrik“ der *SmartFactory*^{KL} befasst sich mit der digitalen Repräsentation der in der *SmartFactory*^{KL}-Systemarchitektur beschriebenen, modularen Industrie 4.0-Produktionsanlage. Die *SmartFactory*^{KL} nimmt dabei Bezug auf das Konzept der sogenannten Verwaltungsschale der Plattform Industrie 4.0 und überträgt dieses exemplarisch auf ihre modulare Industrie 4.0-Anlage. Es werden somit Informationen für die herstellerübergreifenden Produktionsmodule beschrieben, um ein Anwendungsszenario umzusetzen. Durch diese Übertragung zeigt das Whitepaper praxisnah, wie die Verwaltungsschale auf existierende Industrie 4.0-Anlagen angewandt werden kann und liefert so einen Beitrag für ein besseres Verständnis und die weitere Entwicklung der Verwaltungsschale.

Keywords
Verwaltungsschale; Service-orientierte Architektur; Plug’n’Produce

Autoren
Ellina Marseu Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V
Dennis Kolberg Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V
Stephan Weyer Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V

Co-Autoren
Eugen Schibli Mettler-Toledo AG
Michael Hilgner TE Connectivity Germany GmbH
Andreas Schreiber PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG
Renate Franken IBM Deutschland GmbH

1. Zielsetzung des Whitepapers	04
2. Status Quo	05
2.1. Die Verwaltungsschale	05
2.2. Die <i>SmartFactory</i> ^{KL} Industrie 4.0-Systemarchitektur	07
3. Die <i>SmartFactory</i> ^{KL} Industrie 4.0-Produktionsanlage übertragen auf RAMI 4.0	11
4. Beschreibung der Verwaltungsschale für das Plug’n’Produce-Anwendungsszenario.....	14
4.1. Das Plug’n’Produce-Prinzip	14
4.2. Beschreibung der Verwaltungsschale für ein Produktionsmodul.....	15
5. Möglicher Ansatz zur technischen Realisierung	27
6. Zusammenfassung und Ausblick.....	31
7. Quellen	34

1. Zielsetzung des Whitepapers

Dieses Whitepaper überträgt die bisher bestehenden Ergebnisse der Plattform Industrie 4.0 zum RAMI 4.0-Modell und der damit einhergehenden Verwaltungsschale exemplarisch auf die im *SmartFactory*^{KL} Whitepaper SF1.1 (vgl. *SmartFactory*^{KL} 2016) dargestellte Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen. Anhand der existierenden Industrie 4.0-Produktionsanlage der *SmartFactory*^{KL} wird damit ein Anwendungsbeispiel in der diskreten, lose verketteten Fließfertigung gegeben. Das Whitepaper trägt somit dazu bei, durch einen konkreten Anwendungsfall das Verständnis und die Möglichkeiten der Verwaltungsschale zu erläutern und mögliche Herausforderungen sowie deren Lösungsansätze zu identifizieren.

Im Folgenden wird zunächst die Verwaltungsschale der Plattform Industrie 4.0 sowie die *SmartFactory*^{KL} Industrie 4.0-Systemarchitektur beschrieben. Die Übertragung der *SmartFactory*^{KL}-Systemarchitektur und der *SmartFactory*^{KL} Industrie 4.0-Produktionsanlage auf die Referenzarchitektur der Plattform Industrie 4.0 soll anschließend die Parallelen aufzeigen. Anschließend werden am Beispiel des Plug'n'Produce-Anwendungsszenarios für ein Produktionsmodul die notwendigen Teilmodelle, welche spezifische Anlagendaten thematisch aggregieren und in ihrer Darstellungsform beschreiben, hergeleitet. Zum Aufzeigen der Praxisrelevanz und eines möglichen Ansatzes zur technischen Realisierung wird abschließend das Konzept der Verwaltungsschale auf ein Produktionsmodul der *SmartFactory*^{KL} Industrie 4.0-Produktionsanlage beispielhaft übertragen.

2. Status Quo

2.1. Die Verwaltungsschale

Die Plattform Industrie 4.0 ist ein deutschlandweiter, praxisgetriebener Zusammenschluss zur gemeinsamen Erarbeitung von Industrie 4.0-Handlungsempfehlungen und Standardisierungskonzepten. Um konkrete Technologien und technische Fragestellungen im Kontext des zukünftigen Produktionsumfeldes einzuordnen, wurde zunächst ein sogenanntes Referenzarchitekturmodell für Industrie 4.0 (kurz: RAMI 4.0) erarbeitet. Bestandteil von RAMI 4.0 ist die sogenannte Industrie 4.0-Komponente. Sie beschreibt den physischen Aufbau eines Objekts, das im vernetzten, zukünftigen Produktionsumfeld mit anderen Industrie 4.0-Komponenten kommuniziert. Bei der Industrie 4.0-Komponente kann es sich sowohl um ein ganzes Produktionssystem, eine Maschine oder eine Arbeitsstation handeln. Wichtig ist, dass es von dem Objekt mindestens eine Verbindung zu einem Industrie 4.0-konformen Kommunikationsnetzwerk gibt.

Jede Industrie 4.0-Komponente besitzt innerhalb des allumfassenden Konzepts ebenfalls eine sogenannte Verwaltungsschale, die alle im Lebenszyklus anfallenden Daten vereinen soll. Diese kann entweder auf der Industrie 4.0-Komponente selbst oder in einem IT-System an einem anderen Ort gespeichert sein, welcher über das Industrie 4.0-Netzwerk erreichbar ist (vgl. VDI 2015). Das Manifest in der Verwaltungsschale gibt eine Übersicht über die Inhalte und die Struktur der jeweiligen Verwaltungsschale. Der Komponentenmanager wiederum stellt die technische Verbindung zwischen den IT-Diensten und der Industrie 4.0-Komponente her und ermöglicht so den direkten Zugriff auf das physische Objekt. Auch wenn sich technische Details der Verwaltungsschale noch in der Ausarbeitung befinden, existieren bereits erste Überlegungen und Vorgaben für die Struktur (vgl. BMWi 2016). Die Strukturierung orientiert sich an der IEC 62832, welche die digitale Fabrik beschreibt. Sogenannte Assets in der Verwaltungsschale repräsentieren physische oder logische Objekte der Industrie 4.0-Komponente. Ein Asset umfasst allgemeine Angaben zur Identifikation und Bezeichnung im Asset Header sowie einen Asset Body mit einem Modell der von der Asset Klasse bereitgestellten Merkmale. Diese Merkmale können jegliche Daten aus dem Lebenszyklus der Industrie 4.0-Komponente sein. Die Merkmale werden durch konkrete, vorliegende Objekte mit Werten gefüllt (vgl. Instanziierung). Industrie 4.0-Komponenten können ferner miteinander verschachtelt werden. Alle Merkmale sind nach IEC 61360 in die vier Hauptgruppen **identifizierende Attribute**, **semantische Attribute**, **Werteattribute** und **relationale Attribute** unterteilt. Welche Merkmale in der Verwaltungsschale abzulegen sind, ist hierbei noch nicht spezifiziert. Allerdings wurde bereits erkannt, dass eine Unterscheidung in **Basismerkmale**, **Pflichtmerkmale**, **optionale Merkmale** und **freie Merkmale** notwendig ist.

Darüber hinaus sind in der Verwaltungsschale verschiedene Sichten definiert, die ausgewählte Merkmale für bestimmte Anwendungen oder Benutzerrollen zusammenfassend zur Verfügung stellen. Zu den bereits definierten Basis-Sichten der Verwaltungsschale gehören z. B. die Leistungssicht zur Beschreibung der erbrachten Leistung, die Geschäftssicht für betriebswirtschaftliche Informationen oder die örtliche Sicht mit Angaben zu Positionen und physischen Zusammenhängen der Industrie 4.0-Komponente. Diese Sichten können dabei sowohl vom Menschen als auch von Drittsystemen ausgelesen und durch individuelle Sichten ergänzt werden.

Da unterschiedliche Lebenszyklusphasen und Eigentümer unterschiedliche Sichtweisen auf Objekte haben, kann ein physisches Objekt mehrere Verwaltungsschalen haben. Andersherum kann eine Verwaltungsschale aus mehreren Objekten bestehen, welche z. B. in Teilmodellen in der Verwaltungsschale abgelegt sind. Auch kann

eine Verwaltungsschale auf andere Quellen verweisen und neben Pflichtmerkmalen herstellerspezifische Informationen enthalten. [Abbildung 1](#) visualisiert die Grobstruktur der Verwaltungsschale. Durch die nachträgliche Erweiterbarkeit der Sichten und Teilmodelle ist sie auch über die Zeit flexibel, um neuen Anforderungen gerecht zu werden. Die aktuellen Arbeiten der Plattform Industrie 4.0 fokussieren dabei die vertiefende Definition von Inhalten der Verwaltungsschale und deren Demonstration in der Realität.

2.2. Die SmartFactory^{KL} Industrie 4.0-Systemarchitektur

Die Technologie-Initiative **SmartFactory^{KL}** demonstrierte mit ihren Partnern bereits auf der Hannover Messe 2014 in einer Produktionsanlage, wie sich Industrie 4.0-Paradigmen herstellerunabhängig mit bestehenden Technologien realisieren lassen (siehe [Abbildung 2](#)). Mit Hilfe von Paradigmen wie Plug'n'Produce, intelligente Produkte, vertikale Vernetzung und einer dezentralen Produktionssteuerung lässt sich ein vollständig individualisierbarer Visitenkartenhalter in Losgröße 1 bei automatisierter Massenfertigung herzustellen.

Dedizierte Fertigungsmodule mit eigener Steuerung übernehmen hierbei die Durchführung einzelner Prozessschritte. Hierzu lesen sie das am Produkt angebrachte intelligente Produktgedächtnis aus und aktualisieren es nach der Bearbeitung. Durch eine einheitliche Ressourcenversorgung und intelligente Nachbarschaftserkennung können einzelne Module während des Betriebs der Fertigungslinie ausgetauscht werden, ohne den Betrieb in den anderen Modulen zu stören. Grundlage hierfür ist eine modulare Infrastruktur, die die durchgängige vertikale Vernetzung und Versorgung sicherstellt. Dank anerkannter Protokolle wie OPC UA und einer standardisierten informationstechnischen Schnittstelle können IT-Systeme z. B. zur vorausschauenden Wartung (engl.: Predictive Maintenance) Daten aus den Modulen und Feldgeräten auslesen.

Der realisierten Industrie 4.0-Produktionsanlage liegt eine Systemarchitektur mit fünf Ebenen zugrunde, welche im **SmartFactory^{KL}** Whitepaper SF1.1 (vgl. **SmartFactory^{KL}** 2016) beschrieben ist. Einzelne Funktionalitäten wurden einzelnen Objekten zugeordnet und eindeutige Schnittstellen spezifiziert, um so komponentenspezifische Abhängigkeiten zu vermeiden und die Wandelbarkeit des Gesamtsystems zu erhalten. Die Produktionsanlage ist hinsichtlich zukünftiger Anforderungen einfach erweiterbar und einzelne Module – sowohl physisch als auch digital – lassen sich mit wenig Aufwand substituieren.

Grobstruktur der Verwaltungsschale

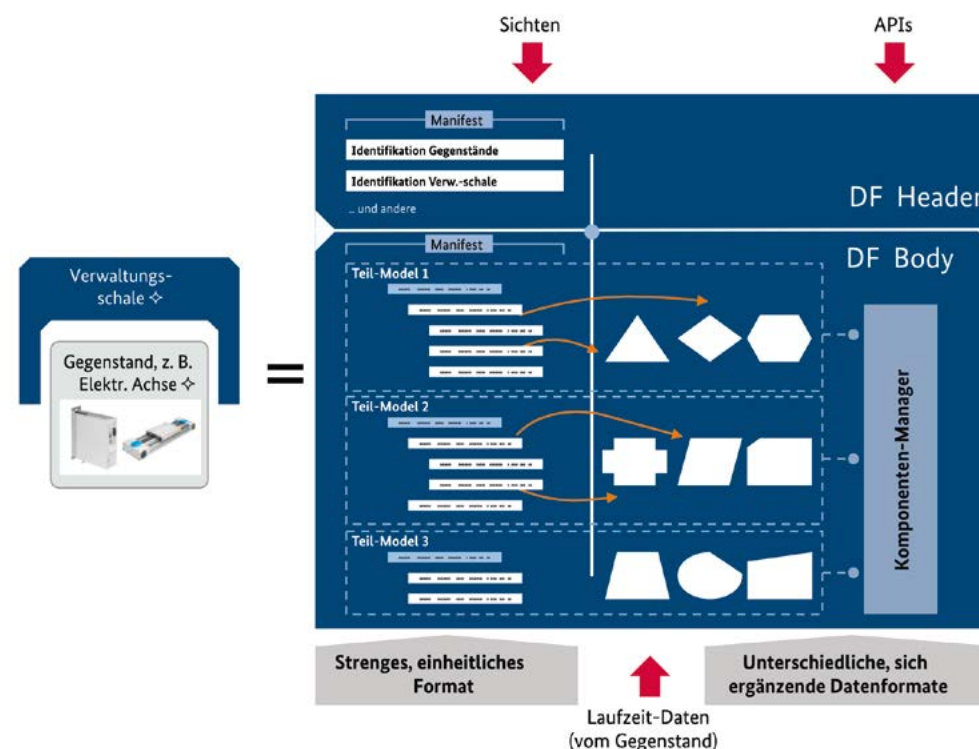


Abbildung 1:
Aufbau der Verwaltungsschale mit Manifest, Teilmodellen und Sichten (vgl. BMWi 2016)

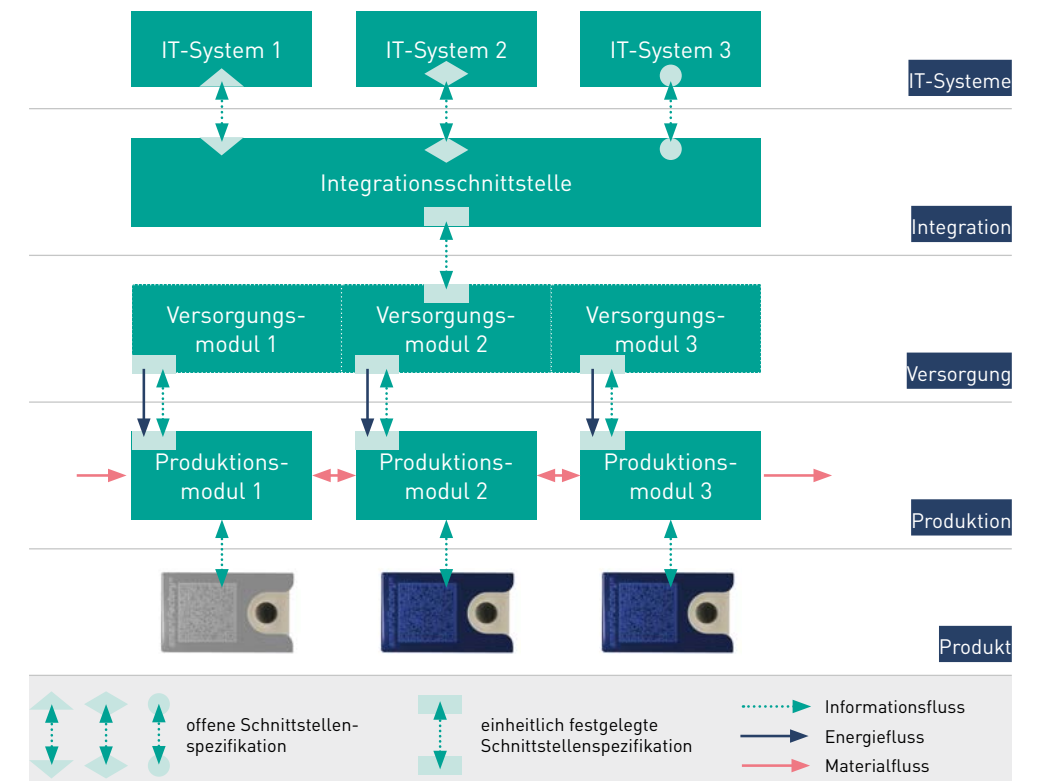


Abbildung 2:
Die *SmartFactory*^{KL}
Industrie 4.0-
Produktionsanlage

Die unterste Ebene der Systemarchitektur bildet das Produkt, welches sich insbesondere durch die Spezifikation der Inhalte des intelligenten Produktgedächtnisses auszeichnet. Die darüber liegende Produktionsschicht umfasst alle Produktionsmodule und übernimmt die eigentlich wertschöpfende Tätigkeit. Die dritte Ebene umfasst die modulare Infrastruktur, welche die Produktionsmodule versorgt und das physische Netzwerk herstellt. Für eine einheitliche digitale Kommunikation ist auf der vierten Ebene die Integrationsschnittstelle beschrieben. Sie verbindet die Produktionsmodule mit den IT-Systemen, stellt den einheitlichen Kommunikationsbus zur Verfügung und vermittelt zwischen den Diensten und Dienstnutzern. Die IT-Systemschicht ist schlussendlich die fünfte Ebene und umfasst alle Funktionalitäten zur computergestützten Produktionsplanung, -steuerung und -optimierung. [Abbildung 3](#) gibt einen zusammenfassenden Überblick über die fünf Schichten der Systemarchitektur.

Für dieses Whitepaper ist insbesondere die Produktionsschicht mit den Fertigungsmodulen relevant, für welche eine mögliche Realisierung der Verwaltungsschale vorgestellt wird. Aus mechanischer Sicht sieht die Spezifikation für Module der Produktionsschicht vor, dass der Grundaufbau eine definierte Höhe, Breite und Länge nicht überschreiten darf. Außerdem definiert sie die Position von in den Modulen zu verwendenden Förderbändern, um einheitliche Übergabepunkte zu anderen Modulen zu gewährleisten. Die Förderbänder bestehen aus einem Vor- und einem Rücklaufband, welche an den Stirnseiten der Module enden. Schleusen ermöglichen es, dass – im geschlossenen Zustand – Produkte in einen Kreislauf umgelenkt

Abbildung 3:
Die *SmartFactory*^{KL}
Industrie 4.0-
Systemarchitektur
(vgl. *SmartFactory*^{KL} 2016)



werden und bei einem benachbarten Tausch des Moduls keine Störung auftritt. Aus elektromechanischer Sicht verfügen alle Module der Industrie 4.0-Produktionsanlage über mindestens drei RFID-Schreib-/Lesegeräte an den Förderbändern. Das intelligente Produktgedächtnis wird hiermit vor der Bearbeitung und dem Transport ins nächste Modul gelesen und nach der Bearbeitung aktualisiert. Für die Topologie-Erkennung hat jedes Modul an den Stirnseiten RFID-Lesegeräte, -Tags sowie Näherungsschalter, mit denen die korrekte Position sichergestellt und das benachbarte Modul identifiziert wird. Die Ressourcenversorgung der Module erfolgt über einen Modularstecker von den Infrastrukturboxen, welcher elektrische Energie, Industrial Ethernet, Sicherheitsfunktion und Druckluft zur Verfügung stellt. Die Spezifikation der Systemarchitektur sieht ein vereinheitlichtes Bedienkonzept mit drei vorgegebenen Betriebsarten und unterschiedlichem Verhalten der Module vor. Jedes Modul verfügt über ein einheitliches Informationsmodell, mit welchem sich Eigenschaften, Betriebs- und Produktionsstatus, Topologie, Ressourcenbedarfe etc. auslesen lassen. Nachstehende Abbildungen zeigen exemplarisch die Realisierung der Spezifikation in der Produktionsanlage. Die Produktionsmodule, die modulare Infrastruktur sowie das intelligente Produktgedächtnis setzen auf eine einheitliche

3. Die *SmartFactory*^{KL} Industrie 4.0-Produktionsanlage übertragen auf RAMI 4.0

informationstechnische Schnittstelle mit für jeden Typen vordefinierter Struktur und standardisierter Beschreibung der Daten. Die Industrie 4.0-Produktionsanlage zeigt in diesen Bereichen Parallelen zum Ansatz der Verwaltungsschale, welche im Folgenden näher untersucht werden.



Auswertung aller Informationen aus den Modulen dank einheitlicher IT-Schnittstellen



RFID- und Näherungsschalter an der Stirnseite der Module zur Erkennung der Topologie



Einheitlicher Versorgungsstecker der modularen Infrastruktur für die Produktionsmodule



Schleusen mit Umlenkung an den Enden der Förderbänder auf den Stirnseiten der Module

Abbildung 4: Beispiele für die Realisierung der *SmartFactory*^{KL}-Systemarchitektur in der Industrie 4.0-Produktionsanlage

Abbildung 5: Verwaltungsschale der verschiedenen Komponenten der *SmartFactory*^{KL}-Systemarchitektur

Die verschiedenen Komponenten der *SmartFactory*^{KL} Industrie 4.0-Produktionsanlage haben jeweils eine eigene Rolle in der modularen Systemarchitektur. Sie können alle durch eine Verwaltungsschale repräsentiert werden und werden so zu Industrie 4.0-Komponenten. Ferner lassen sie sich auf die verschiedenen Dimensionen des RAMI 4.0 der Plattform Industrie 4.0 abbilden. [Abbildung 5](#) zeigt die unterschiedlichen Industrie 4.0-Komponenten der *SmartFactory*^{KL}-Systemarchitektur und wie die Verwaltungsschale sie kapselt.



Das RAMI 4.0 definiert zunächst 7 Hierarchiestufen („Hierarchy Levels“), welche die Granularität eines vernetzten Produktionssystems abbilden. [Abbildung 6](#) zeigt den Zusammenhang zwischen den Hierarchiestufen und der *SmartFactory*^{KL} Systemarchitektur. Ein Unternehmen („Enterprise“), das die Systemarchitektur umgesetzt hat, betreibt Produktionsanlagen („Work Units“), welche wiederum aus einer Verkettung von Produktionsmodulen („Station“) bestehen. Aktuell werden die Komponenten Steuerung („Control Device“) und Feldgeräte („Field Device“) in der *SmartFactory*^{KL}-Systemarchitektur als Teil des Produktionsmoduls betrachtet. Die Produktionsanlage wird durch das darauf gefertigte Produkt („Product“) in ihrer Produktionsfähigkeit näher spezifiziert.

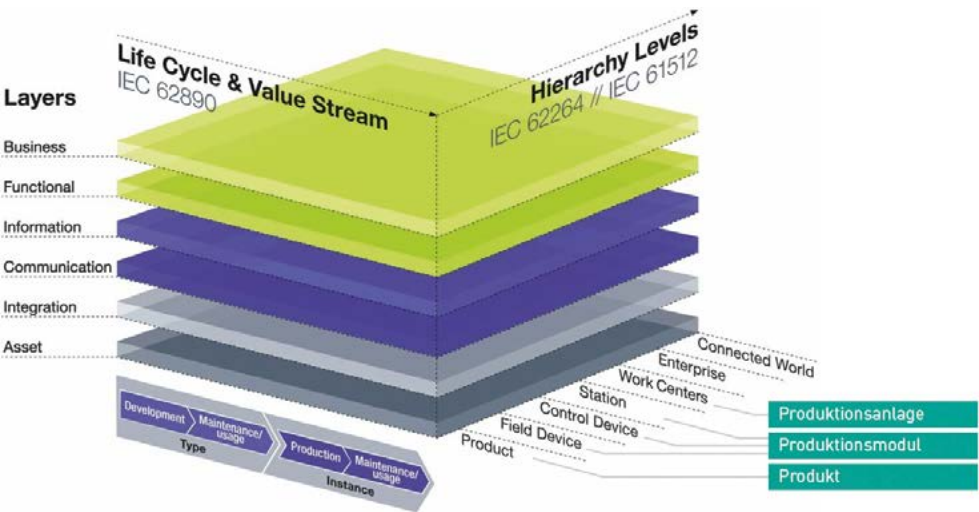


Abbildung 6:
Zuordnung der Komponente
der *SmartFactory^{KL}*
Industrie 4.0-Systemarchi-
tektur auf das RAMI 4.0

Das RAMI 4.0 definiert weiterhin 6 verschiedene Schichten („Layers“), welche die Komponenten eines Produktionssystems hinsichtlic physischer und informations-technischer Aspekte unterscheiden. Produktionsmodule lassen sich dabei wie folgt abbilden:

Layer	Beschreibung für ein Produktionsmodul
Business	Plug'n'Produce bzw. „Produktionsmodule as a Service“ als Geschäftsmodell
Functional	Anbieten eines Diensts zur Ausführung von Fertigungs-, Montage-, Prüf- und Handhabungsprozessen
Information	Merkmale: Daten, Funktionen
Communication	Standard zur Abbildung des Dienstes: Ethernet mit OPC UA
Integration	Informationsmodell
Asset	Produktionsmodul

Das RAMI 4.0 definiert abschließend unterschiedliche Lebenszyklus- und Wertstromphasen („Life Cycle & Value Stream“), wobei eine Komponente jeweils als Typ und Instanz zu betrachten ist. Ein Produktionsmodul (oder „Maschine“ in [Abbildung 7](#)) wird beispielsweise zunächst als Typ geplant, indem es bei dem Hersteller im Katalog als Produkt steht und/oder bei der Entwicklungsabteilung als 3D-Modell mit Basisdaten bzw. einer minimalen Spezifikation konstruiert wird. Später, bei der Bestellung durch den Anwender eines Produktionsmoduls mit zusätzlichen

Eigenschaften bzw. einer spezifischen Konfiguration, muss dieses beim Hersteller spezifisch konstruiert und produziert werden. Das Produktionsmodul wird dabei als reales Objekt instanziiert.

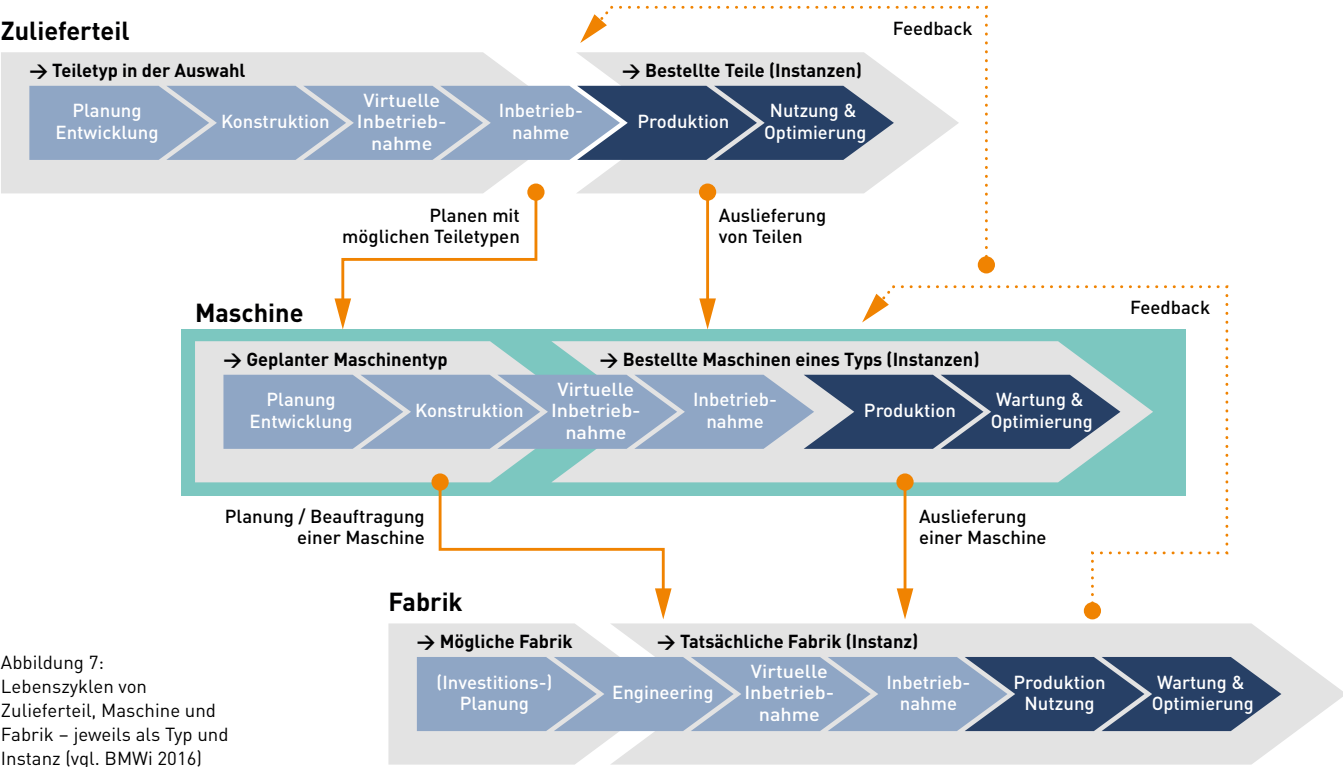


Abbildung 7:
Lebenszyklen von
Zulieferteil, Maschine und
Fabrik – jeweils als Typ und
Instanz (vgl. BMWi 2016)

4. Beschreibung der Verwaltungsschale für das Plug'n'Produce-Anwendungsszenario

4.1. Das Plug'n'Produce-Prinzip

Das an die Informatik angelehnte Plug'n'Produce-Prinzip beschreibt die mechatronische und informationstechnische Modularität von Prozessbausteinen, welche zu wandlungsfähigen oder rekonfigurierbaren Produktionssystemen führt. Die Rekonfiguration muss dabei schnell und weitgehend automatisch stattfinden. Dies wird durch den Einsatz intelligenter, interoperabler Module mit standardisierten Schnittstellen ermöglicht. Ein Anwendungsszenario des Plug'n'Produce-Prinzips ist beispielsweise von der Plattform Industrie 4.0 beschrieben (vgl. BMWi 2016) und an der *SmartFactory*^{KL} Industrie 4.0-Demonstrationsanlage realisiert (vgl. Abbildung 8).

Zur Realisierung eines Plug'n'Produce-Anwendungsszenarios in der *SmartFactory*^{KL} Industrie 4.0-Produktionsanlage muss jedes Produktionsmodul eine umfassende Selbstbeschreibung anbieten, welche die rasche Integration in die Produktionslinie ermöglicht. Die Spezifikation eines Produktionsmoduls soll somit alle Informationen zur Selbstbeschreibung enthalten, die Auskunft über seinen Aufbau und seine Fähigkeiten gibt. Die Summe der Spezifikationen eines Produktionsmoduls, die u. a. seine Plug'n'Produce-Fähigkeit erlauben, stellt seine Verwaltungsschale dar.

In dem angenommenen Szenario muss ein neues Produktionsmodul in die aktuelle Produktionsanlage angekoppelt werden. Dieses muss also seine Merkmale (Funktionen und Daten) über seine Verwaltungsschale bzw. seine Teilmodelle im Sinne einer SOA (Service-orientierte Architektur) darstellen. SOA ist ein Paradigma, das die Realisierung von Geschäftsprozessen für verteilte Systeme unterstützt und darauf abzielt, die Flexibilität dieser Systeme zu erhöhen. Dabei spielen insbesondere die Konzepte der Dienste (engl.: Services), der Interoperabilität und der losen Kopplung eine wichtige Rolle. In der Praxis ermöglicht ein Enterprise-Service-Bus die hohe Interoperabilität zwischen den verteilten Systemen mit Diensten. Ein Dienst stellt in diesem Zusammenhang die Kapselung einer fachlichen Funktionalität dar. (vgl. Josuttis 2009)

Die Interaktionen innerhalb einer SOA können wie ein Dialog zwischen den verschiedenen Systemen betrachtet werden. Eine Verhandlung über die Fähigkeit zum Plug'n'Produce eines Produktionsmoduls könnte beispielsweise mit einer Frage an

das neue Produktionsmodul bezüglich seiner Schnittstellen beginnen. Einfach ausgedrückt wird das Produktionsmodul gefragt: „Welche Schnittstellen hast/brauchst Du?“. Die von dem Produktionsmodul implementierten Teilmodelle müssen dazu geeignet sein, diese Frage zu beantworten bzw. die benötigten Informationen für dieses Anwendungsszenario bereitzustellen.

Abbildung 8:
Wechsel der
Plug'n'Produce-
Produktionsmodule an der
SmartFactory^{KL}
Industrie 4.0-
Produktionsanlage



4.2. Beschreibung der Verwaltungsschale für ein Produktionsmodul

Die im vorherigen Kapitel erwähnte exemplarische Frage an das Produktionsmodul innerhalb einer SOA wird im Folgenden in unterschiedliche Teilfragen untergliedert und anhand unterschiedlicher, von dem Produktionsmodul implementierter Teilmodelle beantwortet. Die dargestellten Teilmodelle sowie die Datenfelder zur Definition der einzelnen Merkmale erheben nicht den Anspruch, erschöpfend zu sein. Ferner sind die Spalten „ID“ willkürlich ausgefüllt. Die eigentlichen Identifikatoren zum Referenzieren einzelner Merkmale sind beispielsweise nach ISO 29002-5 zu bilden. Abschließend ist die Erweiterung der Standardattribute von IEC 61360-1/ISO 13584-42 um die zusätzlichen Datenfelder „Wert“ und „Ausprägungsaussage“ für die Nutzung der Merkmale in I40-Komponenten notwendig. Hier sind Variablen exemplarisch für ein Produktionsmodul in Blau dargestellt.

SOA-Anfrage 1:
„Bist Du max. 1900mm groß, 790mm breit und 1200mm lang?“

→ Teilmodell „Aufbau“

Dieses Teilmodell enthält Informationen zum mechanischen Aufbau, welche u. a. für die physische Integration in eine existierende Produktionsumgebung nötig sind.

ID	Name	Definition	Daten- typ	Maß- einheit	Werte- liste	Wert	Ausprägungs- aussage	Sicht
A1	ModHight	Höhe des Moduls inkl. Rollen	float	mm	0...1900	1900	Zusicherung	Konstruktiv
A2	ModWidth	Breite des Moduls	float	mm	0...790	790	Zusicherung	Konstruktiv
A3	ModLength	Länge des Moduls	float	mm	0...1200	1200	Zusicherung	Konstruktiv

SOA-Anfrage 2:
„Sind Deine Übergabepunkte sowie die Flussrichtung und Geschwindigkeit Deines Transportsystems für den Transfer des Werkstücks geeignet?“

→ Teilmodell „Transportschnittstelle“

Dieses Teilmodell enthält Informationen zu den Transportstellen des Moduls. Der beschriebene Transportmechanismus erlaubt die Übergabe des Produkts zum Nachbarmodul. Das Transportsystem besteht aus zwei umlaufenden Förderbändern, einer Schleusenvorrichtung und definierten Übergabepunkten für die Produkte. Geöffnete Schleusen erlauben das Weiterreichen des Produkts, während eine geschlossene Schleuse zu der Umlenkung von Vorlauf- auf Rücklaufband führt.

ID	Name	Definition	Daten- typ	Maß- einheit	Werte- liste	Wert	Ausprägungs- aussage	Sicht
T1	PosRightIn	Position Einlaufpunkt rechts	array	mm	--	{1200, 490, 850}	Zusicherung	Örtlich
T2	PosLeftOut	Position Auslaufpunkt links	array	mm	--	{0, 490, 850}	Zusicherung	Örtlich
T3	PosLeftIn	Position Einlaufpunkt links	array	mm	--	{0, 650, 850}	Zusicherung	Örtlich
T4	Pos-RightOut	Position Auslaufpunkt rechts	array	mm	--	{1200, 650, 850}	Zusicherung	Örtlich
T5	DirRightIn	Richtung Einlauffluss rechts	array	--	--	{-1, 0, 0}	Zusicherung	Örtlich
T6	DirRightOut	Richtung Auslauffluss rechts	array	--	--	{1, 0, 0}	Zusicherung	Örtlich
T7	DirLeftOut	Richtung Auslauffluss links	array	--	--	{-1, 0, 0}	Zusicherung	Örtlich

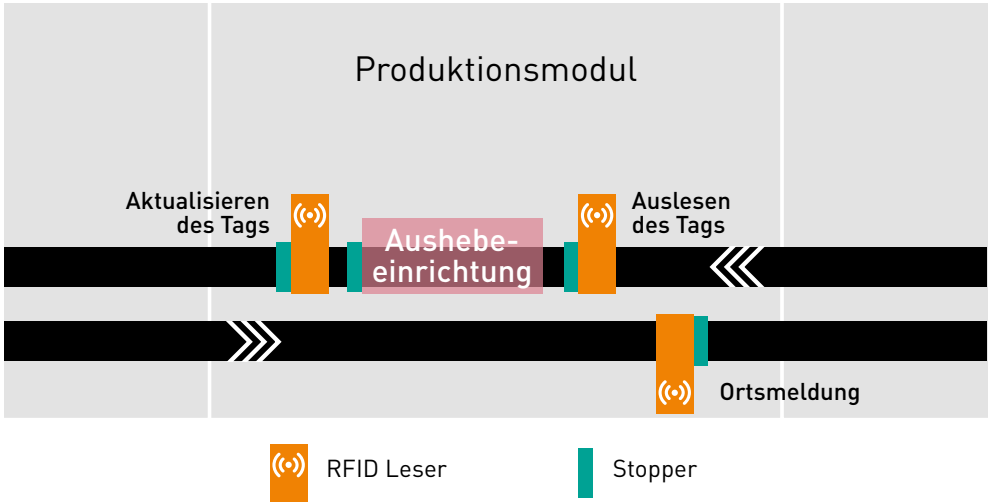
ID	Name	Definition	Daten- typ	Maß- einheit	Werte- liste	Wert	Ausprägungs- aussage	Sicht
T8	DirLeftIn	Richtung Einlauffluss links	array	--	--	{1, 0, 0}	Zusicherung	Örtlich
T9	DoorHight	Durchfahrts- torhöhe	float	mm	--	400	Zusicherung	Konstruktiv
T10	TransWidth	Transports- mittelbreite	float	mm	--	70	Zusicherung	Konstruktiv
T11	SpeedGo	Geschwindig- keit des Hin- laufflusses	float	m/s	{0 ... 1}		Zusicherung	Leistung
T12	SpeedBack	Geschwin- digkeit des Rücklauf- flusses	float	m/s	{0 ... 1}		Zusicherung	Leistung

SOA-Anfrage 3:
„Kannst Du das Produktgedächtnis auslesen, aktualisieren und lokalisieren?“

→ Teilmodell „Produktschnittstelle“

Dieses Teilmodell enthält Informationen zu dem Mechanismus für den Lese- und Schreibzugriff auf das digitale Produktgedächtnis. Der beschriebene Mechanismus erlaubt den automatischen Datenaustausch mit dem Produkt bzw. stellt die Schnittstelle des Produktionsmoduls zu dem Produkt dar und basiert auf der RFID-Technologie. Bei dem Einlaufen des Produkts in ein Produktionsmodul werden alle Produktparameter auf dem digitalen Produktgedächtnis durch ein erstes RFID-Schreiblesegerät ausgelesen. Vor dem Verlassen des Moduls wird das digitale Produktgedächtnis durch ein zweites RFID-Schreiblesegerät aktualisiert. Am Rücklaufband befindet sich ein drittes RFID-Schreiblesegerät, welches die Position des Produktes meldet.

Abbildung 9:
Schematische Verteilung
der RFID-Geräte



ID	Name	Definition	Daten- typ	Maß- einheit	Werte- liste	Wert	Ausprägungs- aussage	Sicht
P1	ProdTag Frequency	Frequenz der 3 RFID- Geräte	float	MHz	--	13,56	Zusicherung	Leistung
P2	ProdTagRan- ge	Reichweite der 3 RFID-Geräte	float	m	0 ... 1,5		Zusicherung	Leistung
P3	PosRead	Position RFID-Gerät Auslesen des Auftrages	array	mm	--	{802, 490, 922}	Zusicherung	Örtlich
P4	PosUpdate	Position RFID-Gerät Aktualisie- rung des Status	array	mm	--	{204, 490, 922}	Zusicherung	Örtlich
P5	PosLocation	Position RFID-Gerät Orts- meldung	array	mm	--	{802, 650, 922}	Zusicherung	Örtlich
P7	ProdTagMe- mory	Userspei- cher des RFID-Tags des Werk- stücks	ushort	Byte	--	2048	Anforderung	Leistung

SOA-Anfrage 4:
„Welche Versorgung brauchst Du zum Funktionieren?“

→ Teilmodell „Versorgungsschnittstelle“

Dieses Teilmodell enthält Informationen zu dem Anschluss an die Versorgungsinfrastruktur. Der beschriebene Mechanismus erlaubt eine elektromechanische Plug'n'Produce-Fähigkeit des Produktionsmoduls, indem er durch einen einzelnen, modularen Stecker die Versorgung des kompletten Produktionsmoduls erlaubt. Er stellt somit die Schnittstelle des Produktionsmoduls zu der Versorgungsinfrastruktur dar. Der hier eingesetzte modulare Stecker besteht aus einem Ethernet-Anschluss, einem Anschluss zur Sicherheitsfunktion sowie 24V Gleichspannung, einem Druckluftanschluss und einem 400V Drehstromanschluss. Die [Abbildung 10](#) stellt diesen schematisch dar.

Abbildung 10:
Beschreibung des
Modularsteckers



Es wird hier angenommen, dass das Layout des Steckers, wie es schematisch auf der [Abbildung 10](#) links zu sehen ist, in diesem Anwendungsszenario einen Standard darstellt und dass sich lediglich die Werte der einzelnen Anschlüsse je nach Anwendung des Steckers ändern. Beispielsweise kann die pneumatische Versorgung für ein bestimmtes Modul nicht notwendig sein. In dem Fall sollte der Druckwert auf 0 gesetzt werden. Die Merkmale des Teilmodells beschreiben somit die Eigenschaften von A, B, C und D.

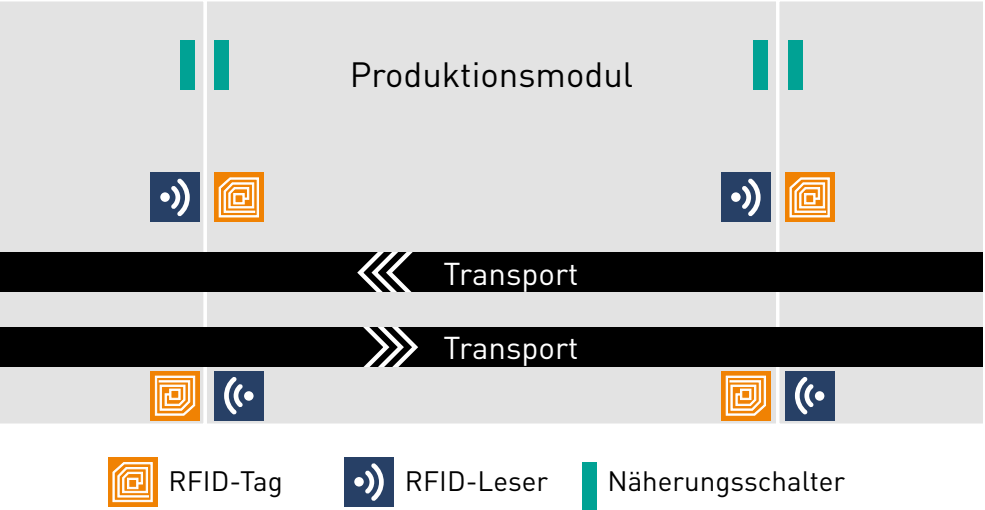
ID	Name	Definition	Daten- typ	Maß- einheit	Werte- liste	Wert	Ausprägungs- aussage	Sicht
V1	DataRate	Ethernet Datenrate	ushort	Mbit/s	{1000 ... 10000}		Anforderung	Netzwerk
V2	Pressure	Arbeits- druck	byte	Bar	{0 ... 10}		Anforderung	Netzwerk
V3	Voltage	Spannung	ushort	V		400	Anforderung	Netzwerk
V4	DirVoltage	Gleich- spannung	byte	V		24	Anforderung	Netzwerk
V5	NumbPneum	Kontakt- anzahl für Pneumatik	byte	--		1	Anforderung	Konstruktiv
V6	NumbPins	Pins für Sicherheit und Gleich- spannung	byte	--		25	Anforderung	Konstruktiv
V7	NumbPoles	Kontakt- anzahl für Spannung	byte	--		4	Anforderung	Konstruktiv

SOA-Anfrage 5:
„Kannst Du Deine Nachbarn erkennen, um eine Zusammenarbeit zu erlauben?“

→ Teilmodell „Nachbarschaftsschnittstelle“

Dieses Teilmodell enthält Informationen zum Erkennen der Anlagentopologie bzw. zu den Kopplungsstellen zwischen den Produktionsmodulen. Der beschriebene Mechanismus erlaubt die Ankopplung an andere Produktionsmodule und die Integration in die Produktionslinie. Er stellt somit die Schnittstelle des Produktionsmoduls zu anderen Produktionsmodulen dar. Die Baugruppe besteht aus einem RFID-Leser, einem RFID-Tag sowie zwei Näherungsschaltern zur Erkennung und eindeutigen Identifizierung des benachbarten Produktionsmoduls (vgl. [Abbildung 4](#) oben rechts und [Abbildung 11](#)). Die Anordnung dieser Baugruppe gestaltet sich derart, dass sich bei dem Aneinanderfügen zweier Module jeweils das Tag des einen und der Leser des anderen gegenüberliegen. Werden Module dagegen verdreht, wird die Erkennung durch den asymmetrischen Aufbau verhindert.

Abbildung 11:
Schematische Anordnung
der Baugruppe zur
Topologieerkennung



ID	Name	Definition	Daten- typ	Maß- einheit	Werte- liste	Wert	Ausprä- gungs- aussage	Sicht
N1	PosTagLeft	Position RFID-Tag Links	array	mm	--	{0, 290, 250}	Zusicherung	Örtlich
N2	PosReadLeft	Position RFID-Leser Links	array	mm	--	{0, 50, 530}	Zusicherung	Örtlich
N3	PosReedLeft1	Position Reedsensor 1 Links	array	mm	--	{0, 265, 565}	Zusicherung	Örtlich
N4	PosReedLeft2	Position Reedsensor 2 Links	array	mm	--	{0, 415, 565}	Zusicherung	Örtlich
N5	PosMagnet- Left1	Position Magnet 1 Links	array	mm	--	{0, 385, 215}	Zusicherung	Örtlich
N6	PosMagnet- Left2	Position Magnet 2 Links	array	mm	--	{0, 535, 215}	Zusicherung	Örtlich
N7	PosTagRight	Position RFID Tag Rechts	array	mm	--	{1200, 50, 530}	Zusicherung	Örtlich
N8	PosReadRight	Position RFID-Leser Rechts	array	mm	--	{1200, 290, 250}	Zusicherung	Örtlich
N9	PosReed- Right1	Position Reedsensor 1 Rechts	array	mm	--	{1200, 385, 215}	Zusicherung	Örtlich
N10	PosReed- Right2	Position Reedsensor 2 Rechts	array	mm	--	{1200, 535, 215}	Zusicherung	Örtlich
N11	PosMagnet- Right1	Position Magnet 1 Rechts	array	mm	--	{1200, 265, 565}	Zusicherung	Örtlich

ID	Name	Definition	Daten- typ	Maß- einheit	Werte- liste	Wert	Ausprä- gungs- aussage	Sicht
N12	PosMagnet- Right12	Position Magnet 2 Rechts	array	mm	--	{1200, 415, 565}	Zusicherung	Örtlich
N13	ModTagMe- mory	Userspei- cher der RFID-Tags	ushort	Byte	--	112	Zusicherung	Leistung
N14	ModTagFre- quency	Frequenz des RFID- Gerätes	float	MHz	--	13,56	Zusicherung	Leistung
N15	ModTagRange	Reichweite des RFID- Gerätes	float	m	0 ... 1,5		Zusicherung	Leistung

5. Möglicher Ansatz zur technischen Realisierung

SOA-Anfrage 6:
„Kannst Du mit Deiner Umgebung interagieren?“

→ Teilmodell „Kommunikationsschnittstelle“

Dieses Teilmodell enthält Informationen zu der Kommunikationsfähigkeit zwischen dem Produktionsmodul und den anderen Systemen. Über die Kommunikationsschnittstelle tritt das Produktionsmodul im Netz auf. Darüber muss auf seine Dienste zugegriffen werden können.

ID	Name	Definition	Daten- typ	Maß- einheit	Werte- liste	Wert	Aus- prägungs- aussage	Sicht
K1	DHCP	DHCP Cli- ent Funk- tion zur dynamische Zuweisung der IP	bool	--	--	False	Zu- sicherung	Netz- werk
K2	IP	IPv4 IP- Adresse	string	--	--	"192.168.1. 2"	Zu- sicherung	Netz- werk
K3	Host	Hostname	string	--	--	"sf-ind40-ModulA"	Zu- sicherung	Netz- werk
K4	WebClient	Webclient zum Abru- fen von Da- ten von dem Webserver	uri	--	--	urn:sf-ind40- ModulA:Chro- me:HttpClient	Zu- sicherung	Netz- werk
K5	UAServer	OPC UA Server mit Informati- onsmodell des Moduls	uri	--	--	opc.tcp://sf-ind40- ModulA:4845	Zu- sicherung	Netz- werk
K6	UAClient	OPC UA Client zum Zugriff auf Variablen	uri	--	--	urn:sf-ind40- ModulA:UnifiedAu- tomation:UaExpert	Zu- sicherung	Netz- werk

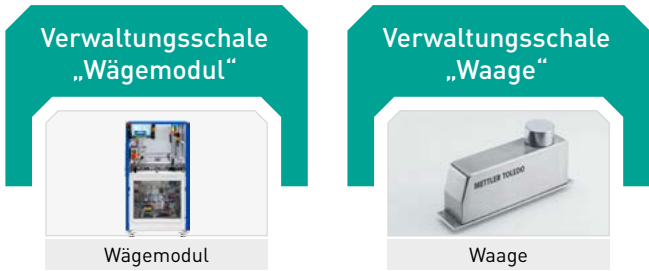
Die für ein Plug'n'Produce-Anwendungsszenario beschriebenen Teilmodelle werden von jedem Produktionsmodul der **SmartFactory^{KL}**-Produktionsanlage implementiert. Im Folgenden wird das Konzept spezifischer auf ein Produktionsmodul – das hochauflösende Wägemodul zur automatischen Qualitätskontrolle (vgl. [Abbildung 12](#)) – exemplarisch übertragen.

Abbildung 12:
Das Wägemodul der
SmartFactory^{KL} Industrie 4.0-
Produktionsanlage



Das Wägemodul von Mettler Toledo wurde für den Einbau in Maschinen und Instru-
menten entwickelt und hat wenig mit einer traditionellen Tischwaage mit Anzeige
und Tastatur gemein. Da sowohl traditionelle Tisch- oder Bodenwaagen als auch
integrierbare Wägemodule in einer Industrie 4.0-Umgebung einsetzbar werden
sollten, müssen beide Ausführungen eine Verwaltungsschale gemäß dem RAMI 4.0
bereithalten (vgl. [Abbildung 13](#)).

Abbildung 13:
Verwaltungsschalen des
Wägemoduls und
der Waage



Die nachfolgende Beschreibung der Verwaltungsschale für das Wägemodul zeigt auf, welche Informationen zu welchem Zweck für eine Industrie 4.0-Anwendung genutzt werden können. Dabei gilt es zu unterscheiden zwischen statischen Daten zur Typendefinition bzw. für das Plug'n'Produce-Anwendungsszenario einerseits und Zustandsdaten beispielsweise für Zustandsüberwachung oder vorausschauende Wartung andererseits (vgl. [Abbildung 14](#)).

Statische Daten zur Spezifikation des Wägemoduls

- Messleistung: Kapazität, Ablesegenauigkeit, Reproduzierbarkeit, Betriebstemperatur, usw.
- Versionsverwaltung: Software, Elektronik, mechanische Komponenten
- Individuelle Waagen-Konfiguration: Filtereinstellungen, usw.
- Mechanik: CAD-Daten
- Elektronik: Elektrische Pläne
- Software: Funktionsbausteine und Device Description Files für die SPS

Diese Daten verändern sich kaum mit der Zeit und werden in der Regel lediglich zum Ersatz der Waage oder für einen Umbau der Maschine benötigt. Aus diesem Grund können sie problemlos außerhalb der Waage, z. B. auf einer Cloud gespeichert werden.

Zustandsdaten zur Analyse der Waage

Die Messleistung einer Waage kann durch äußere oder innere Störgrößen nicht nur kurzfristig ausfallen, sondern sich auch kontinuierlich über die Zeit degradieren. Zum zuverlässigen Erkennen des schleichenden Leistungsverlusts mittels Werkzeugen zur Zustandsüberwachung oder vorausschauenden Wartung, sollten folgende Log-Daten entweder auf der Waage bzw. im Wägemodul gespeichert sein oder kontinuierlich in eine Cloud gesendet werden.

- Kalibrierdaten: Datum, Abweichungen, Zertifikat-ID
- Unterschreitungen des gültigen Messbereichs
- Überlastsituationen
- Temperatur in der Wägezelle
- Vibrationen
- Stabilisierungszeiten und Nullpunktrückgang
- Drift im Nullpunkt und bei stabilem Gewicht
- Symmetrieabweichungen bei mehreren Messzellen

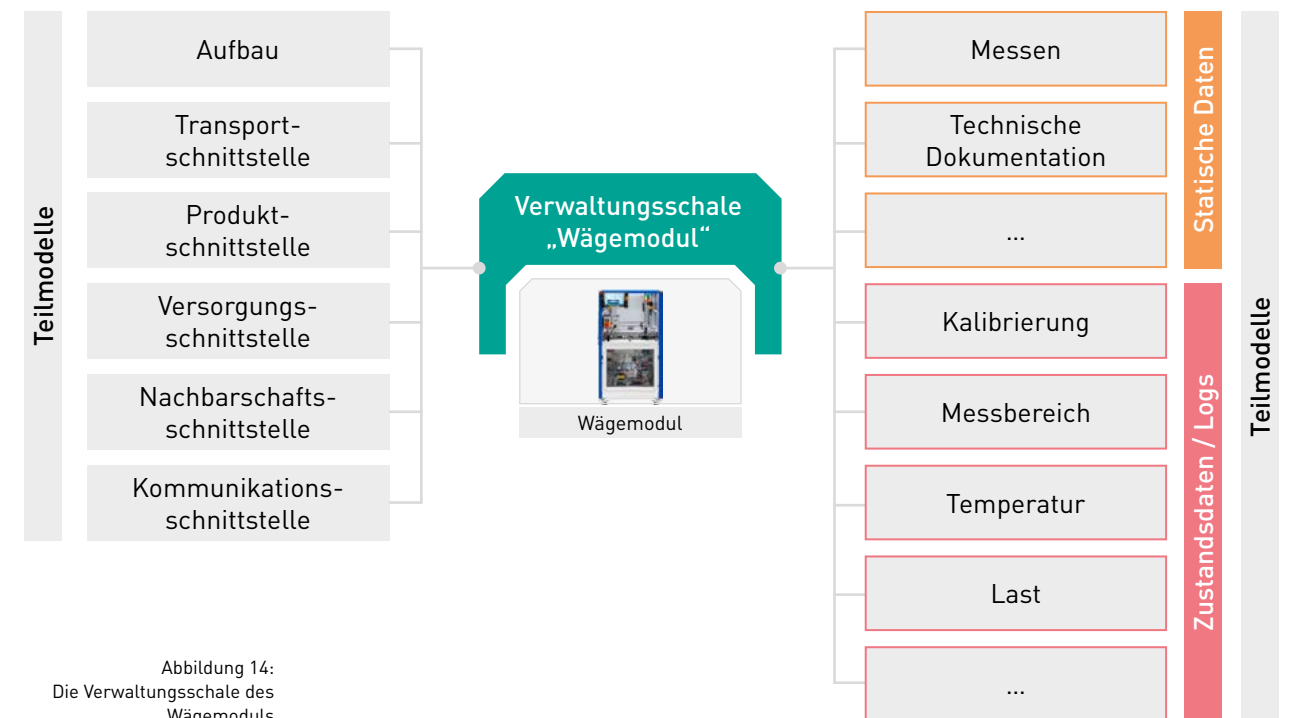


Abbildung 14:
Die Verwaltungsschale des
Wägemoduls

Grundsätzlich offerieren moderne Waagen bzw. Wägemodule bereits heute die oben dargestellten Informationen. Das Auslesen erfolgt aber zurzeit über proprietäre Formate und die Speicherung der Daten allenfalls über zusätzliche Hardware, wenn die Waage über den notwendigen Speicherplatz nicht verfügt. Die folgende [Abbildung 15](#) stellt eine mögliche Struktur der Verwaltungsschale für das Wägemodul dar und ordnet die verschiedenen Daten der Teilmodelle Elementen der *SmartFactory*^{KL} Industrie 4.0-Systemarchitektur zu.

Konzeptuell soll die Verwaltungsschale zwischen der Steuerungsebene und den darüber liegenden IT-Schichten eingefügt werden und somit ein Gateway zwischen der Automatisierungstechnik und den IT-Systemen bilden. Als Container für die Verwaltungsschale kann ein industrietauglicher Einplatinen-Computer verwendet werden, wie beispielsweise ein Harting MICA®-System¹. Dem Retrofitting-Ansatz für bestehende Anlagen zufolge muss dieses System an die SPS angebunden werden und mit Schnittstellen zu verschiedenen Kommunikationsstandards ausgerüstet werden (z. B. Webservices, MQTT, OPC-UA-Server), über die auf die Steuerungsebene zugegriffen werden kann. Auf dem Container soll ferner eine Software laufen, die passend zu den Schnittstellen der SPS konfiguriert wird, die erhaltenen Daten

¹ <http://www.harting-mica.com/>

6. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

Dieses Whitepaper beschreibt eine exemplarische Übertragung der RAMI 4.0-Verwaltungsschale auf die *SmartFactory*^{KL}-Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen. Der Anspruch dabei ist es, ein praxisnahes Lösungsmuster aufzuzeigen, wie einzelne Produktionsmodule innerhalb moderner, lose verketteter Produktionsanlagen digital beschrieben werden können, um innerhalb einer SOA eine hohe Wandelbarkeit durch das Plug'n'Produce Prinzip zu erreichen. Die aufgezeigten Teilmodelle der Verwaltungsschale der Produktionsmodule der *SmartFactory*^{KL}-Produktionsanlage sollen als Orientierungshilfe für die digitale Beschreibung ähnlicher Produktionsmodule dienen, die ebenfalls auf eine automatische, schnelle Rekonfigurierbarkeit abzielen. Die beispielhafte Realisierung anhand des Wägemoduls zeigt einen möglichen Ansatz zur Übertragung des Konzepts der Verwaltungsschale in die Praxis.

Ausblick

Die **Arbeitsgruppe 2 „Digitale Fabrik“** der *SmartFactory*^{KL} wird zukünftig die Spezifikation der Verwaltungsschale bzw. der Teilmodelle verfeinern und hinsichtlich ihrer Realisierbarkeit bewerten und weiterentwickeln. Als erster Schritt ist eine Verfeinerung der Teilmodelle durch die Verwendung globaler, zugelassener Identifikatoren bspw. auf Basis von ISO 29002 (eCl@ss oder IEC CDD) oder URI vorgesehen, beispielsweise für die semantische Beschreibung in Domäneontologien zur technischen Umsetzung durch Webservices² (vgl. Dengel 2012).

Zur Bewertung der Realisierbarkeit müssen weiterhin die Teilmodelle prototypisch implementiert und evaluiert werden. Dadurch sollte feststellbar werden, ob die definierte Verwaltungsschale für ein Plug'n'Produce-Szenario ausreichend ist. Zu diesem Zweck können beispielsweise bestehende Erkenntnisse aus dem ZVEI-Projekt openAAS³ eingebunden werden, wobei eine konkrete Nutzung der Implementierung als beispielhafte Möglichkeit der Realisierung dienen könnte.

Nach erfolgreichem Aufzeigen der Machbarkeit der Verwaltungsschale für ein Produktionsmodul könnten ferner die Verwaltungsschalen weiterer Komponenten der *SmartFactory*^{KL} Industrie 4.0-Systemarchitektur spezifiziert werden. Es könnten beispielsweise die Infrastrukturbox, das Produkt, der Mensch, oder die Logistikeinheit

semantisch anreichert und nach oben an die IT-Schichten weiterreicht. [Abbildung 15](#) schlägt eine beispielhafte technische Realisierung des Konzepts in der *SmartFactory*^{KL} Industrie 4.0-Produktionsanlage vor. In diesem Beispiel werden die Daten mittels OPC UA an das Enterprise Service Bus (IBM Integration Bus) weiterreicht. Statische Daten können aus dem ERP von SAP oder aus einer Datenbank geladen werden, welcher ebenfalls mit dem Enterprise Service Bus verbunden sind. Neue Drittanwendungen können die Daten von dem Enterprise Service Bus beispielsweise mittels MQTT oder REST abrufen.

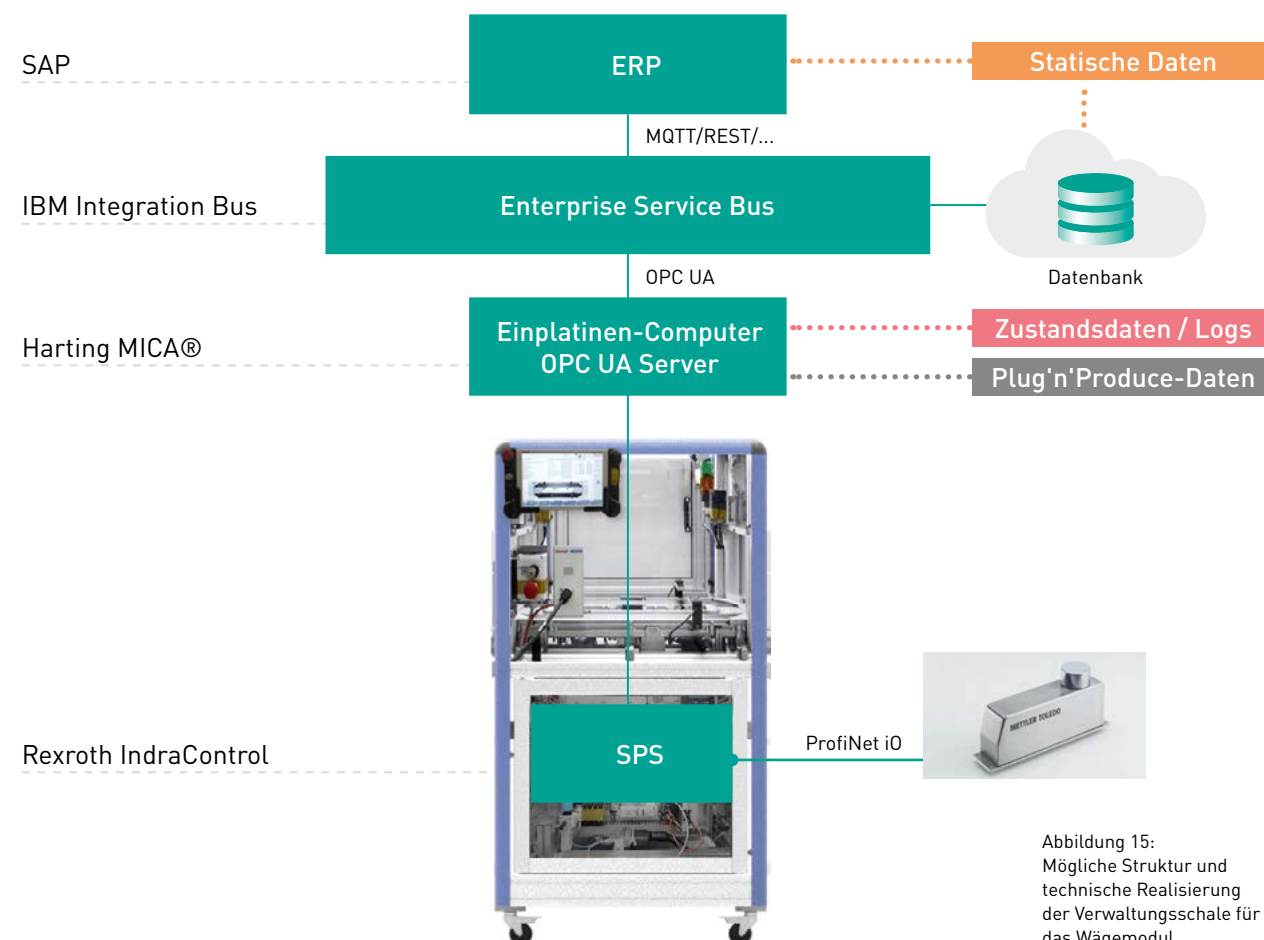


Abbildung 15:
Mögliche Struktur und
technische Realisierung
der Verwaltungsschale für
das Wägemodul

² Webservices sind über Internetprotokolle aufrufbare, gekapselte Anwendungen, deren Schnittstellen mit Hilfe standardisierter Beschreibungssprachen definiert werden.

³ <http://acplt.github.io/openAAS/>

(Festo Robotino®) eine eigene Verwaltungsschale implementieren, um ebenso per Plug'n'Produce integrierbar zu werden.

In der Zukunft sind weitere Anwendungsszenarien wie die Zustandsüberwachung oder vorausschauende Wartung sowohl auf Produktionsmodul- als auch auf Feldgeräteebene geplant, welche eine Schachtelung mehrerer Verwaltungsschalen notwendig macht.

7. Quellen

SmartFactory^{KL} 2016: Gorecky, D.; Weyer, S. (2016): **SmartFactory**^{KL} Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen. WhitePaper. Technologie-Initiative SmartFactory KL e. V., Kaiserslautern. Online verfügbar unter http://dfki-3036.dfki.de/pdf/Whitepaper/SF_WhitePaper_DE.PDF, zuletzt geprüft am 17.04.2017.

VDI 2015: Adolphs, Peter; Bedenbender, Heinz; Dirzus, Dagmar; Ehlich, Martin; Epple, Ulrich; Hankel, Martin et al. (2015): Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). Statusreport. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik; ZVEI. Online verfügbar unter https://www.vdi.de/fileadmin/user_upload/VDI-GMA_Statusreport_Referenzarchitekturmodell-Industrie40.pdf, zuletzt geprüft am 13.04.2017.

BMWi 2016: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2016): Struktur der Verwaltungsschale. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/struktur-der-verwaltungsschale.pdf?blob=publicationFile&v=6>, zuletzt geprüft am 13.04.2017.

Josuttis 2009: Josuttis, N. (2009): SOA in der Praxis. System-Design für verteilte Geschäftsprozesse. Dpunkt.verlag, Heidelberg.

Dengel 2012: Dengel, A. (2012): Semantische Technologien. Grundlagen – Konzepte – Anwendungen. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.

Versionshistorie

Whitepaper SF-2.1: 04/2017

Herausgegeben von

Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V.

Trippstadter Straße 122

67663 Kaiserslautern

T +49 (0)631 20575-3401

F +49 (0)631 20575-3402

Die Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V.
(**SmartFactory^{KL}**) ist ein gemeinnütziger Verein des
öffentlichen Rechts, eingetragen im Vereinsregister
Kaiserslautern.

Vereinsregisternummer: VR 2458 Kai

Vorstand

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Detlef Zühlke (Vorsitzender)

Andreas Huhmann

Dr. Thomas Bürger

Klaus Stark

Wissenschaftlicher Koordinator

Dennis Kolberg

T +49 (0)631 20575-5237

M kolberg@smartfactory.de