

# INTEROPERABLE INFORMATION- MODELLE IN INDUSTRIE 4.0

ERFAHRUNGEN UND  
HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN  
AUS PRAXISSICHT

# Impressum

## Herausgeber

Begleitforschung PAiCE  
iit – Institut für Innovation und Technik in der  
VDI / VDE Innovation + Technik GmbH  
Dr. Inessa Seifert, iit  
Dr. Lisa Risch, DIN  
Peter Gabriel, iit  
Steinplatz 1  
10623 Berlin  
gabriel@iit-berlin.de  
www.paice.de

## Autoren

Johannes Hoos | FESTO AG (Projekt DEVEKOS)  
Dr. Björn Kahl | Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (Projekt SeRoNet)  
Ronny Kreuch | TU Berlin (Projekt IC4F)  
Prof. Dr. Arndt Lüder | Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (Projekt INTEGRATE)  
Lars Niklas Penczek | Ruhr Universität Bochum (Projekt ROBOTOP)  
Dr. Lisa Risch | DIN  
Eike Schäffer | Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (Projekt ROBOTOP)  
Dr. Inessa Seifert | iit  
Roman Winter | GS1 Germany GmbH (Projekt SaSCh)

## Gestaltung

LoeschHundLiepold  
Kommunikation GmbH  
Hauptstraße 28 | 10827 Berlin  
paice@lhk.de

## Stand

Februar 2020

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Inhalt

<b>Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Erfahrungsberichte aus den PAiCE-Projekten</b> .....	<b>6</b>
1.1 SeRoNet .....	8
1.1.2 Anwendungsbeispiele und Implementierung der Industrie 4.0 Konzepte .....	9
1.1.3 Bewertung der Industrie 4.0-Konzepte und -Modelle .....	12
1.1.4 Empfehlungen an die Plattform Industrie 4.0 .....	13
1.2 ROBOTOP .....	15
1.2.1 Einordnung von ROBOTOP in RAMI4.0 .....	15
1.2.2 Anwendungsbeispiele und Implementierung der Industrie 4.0 Konzepte .....	16
1.2.3 Bewertung der Industrie 4.0 Konzepte und Modelle .....	19
1.2.4 Weiterentwicklung, Wünsche und Botschaften und Empfehlungen an die Plattform Industrie 4.0 .....	19
1.3 INTEGRATE .....	20
1.3.1 Einordnung von INTEGRATE in RAMI4.0 .....	20
1.3.2 Anwendungsbeispiele und Implementierung der Industrie 4.0 Konzepte .....	21
1.3.3 Bewertung der Industrie 4.0-Konzepte und -Modelle .....	23
1.3.4 Weiterentwicklung, Wünsche und Botschaften sowie Empfehlungen an die Plattform Industrie 4.0 .....	23
1.4 DEVEKOS .....	24
1.4.1 Einordnung von DEVEKOS in RAMI4.0 .....	24
1.4.2 Anwendungsbeispiele und Implementierung der Industrie 4.0 Konzepte .....	25
1.4.3 Bewertung der Industrie 4.0-Konzepte und -Modelle .....	26
1.5 IC4F .....	27
1.5.1 Einordnung von IC4F in RAMI4.0 .....	27
1.5.2 Anwendungsbeispiele und Implementierung der Industrie 4.0 Konzepte .....	28
1.6 SaSch .....	30
1.6.1 Einordnung von SaSch in RAMI4.0 .....	30
1.6.2 Anwendungsbeispiele und Implementierung der Industrie 4.0 Konzepte .....	31
<b>2 Handlungsempfehlungen</b> .....	<b>34</b>
<b>Anhang</b>	
<b>Die Referenzarchitektur RAMI 4.0 und zentrale Standards für Industrie 4.0</b> .....	<b>36</b>
RAMI 4.0 – Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 .....	36
Verwaltungsschale in RAMI 4.0 .....	37
Semantik: eCI@ss .....	37
Informationsmodelle .....	37
OPC UA .....	37
AutomationML .....	39

# Einleitung

Design, Engineering und Software-Entwicklung von Automatisierungslösungen für die Fertigung werden immer häufiger unternehmensübergreifend in digitalen Ökosystemen durchgeführt. Die hohe Entwicklungsdynamik bei den hochspezialisierten Hardware- und Softwarekomponenten der Automatisierungstechnik erfordert einheitliche Schnittstellen in komplexen industriellen Wertschöpfungsnetzen. Die Plattform Industrie 4.0 hat sich daher zum Ziel gesetzt, mit der Referenzarchitektur Industrie 4.0 (RAMI 4.0) ein Modell zu entwickeln, das der Vereinheitlichung und Interoperabilität der Informationsmodelle über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg dient. Die Integration und Steuerung der herstellereigenspezifischen Komponenten erfolgt über die sogenannte „Verwaltungsschale“, die deren virtuelles Abbild darstellt. Die Verwaltungsschale ermöglicht die Kommunikation und den Informationsaustausch zwischen den vernetzten Produktionssystemen und somit auch die Durchgängigkeit der Engineering-Prozesse. Auf internationaler Ebene hat sich für die Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) als Standard durchgesetzt. Branchenspezifische Standards (Companion Specifications), welche unterschiedliche Anwendungen von OPC UA beschreiben, werden in Deutschland insbesondere vom VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) vorangetrieben und koordiniert. Von Bedeutung für die Interoperabilität sind daneben auch die Standards AutomationML (Automation Markup Language) für die Beschreibung von Industrieanlagen, EPCIS (Electronic Product Code Information Services) zur Spezifikation von Ereignissen in der Lieferkette und eCI@ss zur Klassifikation von Produkten und Dienstleistungen.

Im Rahmen des BMWi-Technologieprogramms PAiCE (Platforms, Additive Manufacturing, Imaging, Communication, Engineering) haben mehrere Projekte an Konzepten und Schnittstellen für den Datenaustausch zwischen verschiedenen Akteuren der industriellen Ökosysteme gearbeitet – von Anlagen-, Roboter- und Komponentenhersteller, Softwareentwickler bis hin zu den Endanwendern in den Bereichen Inbetriebnahme, Wartung und Logistik. Die Ansätze zu kooperativen Engineering-Werkzeugen sind für die Weiterentwicklung und Praxisanwendung der Industrie 4.0-Konzepte von besonderer Bedeutung. Insbesondere im Bereich Servicerobotik werden vielversprechende Potentiale hinsichtlich der Produktivitätssteigerung durch flexible Automatisierungslösungen erwartet. Innovative plattformbasierte Konfiguratoren und Engineering-Werkzeuge für Systemintegratoren beschleunigen den Engineering-Prozess und sorgen für die Verbreitung von Servicerobotik-Lösungen auf dem Markt. Die grundlegende Voraussetzung hierfür sind einheitliche Datenaustausch-Formate und abgestimmte Schnittstellen für Softwarebausteine, die von kleinen und mittelständischen Unternehmen schnell eingesetzt und wiederverwendet werden können. Die PAiCE-Projekte waren damit ideale Prüfsteine für die aktuellen Entwicklungen zu interoperablen Informationsmodellen für Industrie 4.0.

Die Begleitforschung zum Programm PAiCE hat daher gemeinsam mit den Projekten DEVEKOS, IC4F, INTEGRATE, ROBOTOP, SaSch und SeRoNet sowie der Arbeitsgruppe „Referenzarchitekturen, Standards und Normung“ der Plattform Industrie 4.0 und dem VDMA am 07.06.2019 in Stuttgart den Workshop „Interoperable Informationsmodelle in Industrie 4.0“ veranstaltet.

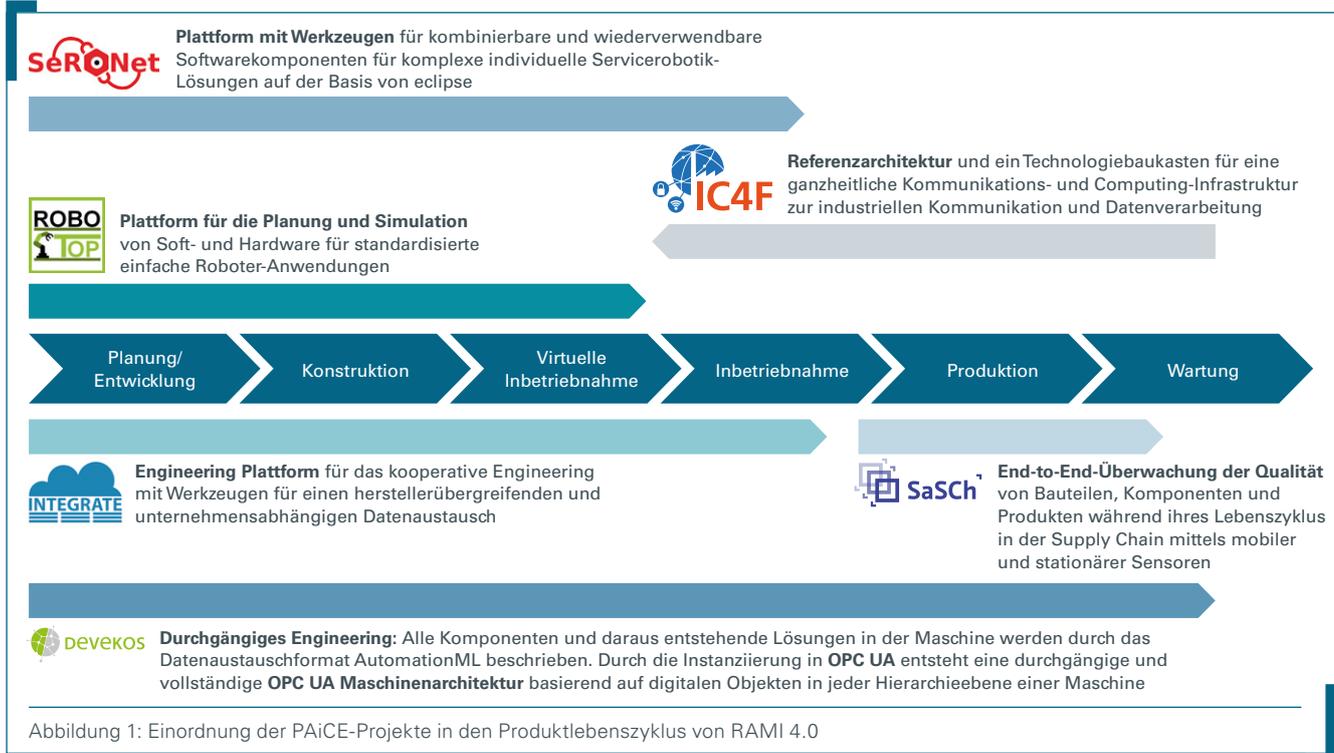
Die Vertreterinnen und Vertreter der Plattform Industrie 4.0 und des VDMA stellten die aktuellen Entwicklungen bei der Spezifikation der Verwaltungsschale und bei der Definition von OPC Companion Specifications vor. Im Gegenzug präsentierten die PAiCE-Projekte ihre Ansätze zu den verketteten Engineering- und Design-Werkzeugen, Plattformen und Konfiguratoren für individuelle Automatisierungslösungen und berichteten über ihre Erfahrungen mit den jeweiligen Standards. Im Anschluss diskutierten die Teilnehmenden Handlungsempfehlungen für die weiteren Standardisierungsarbeiten.

Die vorliegende Workshop-Dokumentation enthält die verschriftlichten Erfahrungsberichte der Projekte und die gemeinsamen Handlungsempfehlungen der Workshop-Teilnehmenden.

Die Herausgeber bedanken sich bei den Vertretern der Projekte für ihre Beiträge zum Workshop und die rege Diskussion. Ein besonderer Dank geht an Dr. Michael Hoffmeister (FESTO) und Dr. Birgit Boss (Bosch) von der Plattform Industrie 4.0 sowie an Dr. Christian Mosch (VDMA) für ihre Impulsvorträge zur Verwaltungsschale und OPC UA sowie für ihre fruchtbaren Beiträge zur Diskussion.

Im Kapitel 2 folgen zunächst die Beiträge der PAiCE-Projekte. Die Handlungsempfehlungen der Workshop-Teilnehmenden haben wir im abschließenden Kapitel 3 zusammengefasst. Lesende, die mit den beim Workshop diskutierten Standards und der Referenzarchitektur RAMI 4.0 noch nicht eng vertraut sind, finden im Anhang eine erste Einführung. Für weiterführende Informationen zu RAMI 4.0 und anderen internationalen Referenzarchitekturen für Industrie 4.0 sowie zu den zentralen Standards in diesem Bereich, wie der Verwaltungsschale und OPC UA, verweisen wir auf eine weitere Publikation der PAiCE-Begleitforschung: Jörg Megow: Referenzarchitekturmodelle für Industrie 4.0, Smart Manufacturing und IoT. iit: Berlin 2020.

# 1 Erfahrungsberichte aus den PAiCE-Projekten



Die beim Workshop vertretenen PAiCE-Projekte decken alle Phasen des Produktlebenszyklus von der Planung über die Konstruktion bis hin zu Produktion und Wartung ab (siehe Abbildung 1). Die Forschungsarbeiten in den Projekten ROBOTOP, SeRoNet, DEVEKOS und INTEGRATE betreffen hauptsächlich die Engineering-Phasen Planung/Entwicklung, Konstruktion, virtuelle Inbetriebnahme und physikalische Inbetriebnahme. Das Projekt SaSch adressiert das Themengebiet Logistik und entwickelt Lösungen für das Tracking der Komponenten und Bauteile in der Produktion sowie die anschließende Wartung beim Endanwender.

In der Phase der Inbetriebnahme werden beispielsweise bei dem Projekt DEVEKOS die Hardwarekomponenten mit der Beschreibung der Kommunikationsschnittstellen auf Basis von AutomationML versehen, um anschließend nahtlos in die Gesamtkommunikationsinfrastruktur eingefügt zu werden.

Mit den Fragestellungen der industriellen Kommunikation und insbesondere der Entwicklung eines Configurators für das Design und die Inbetriebnahme von industriellen Kommunikationsinfrastrukturen befasst sich das Projekt IC4F.

Die Lösungsansätze aus den Projekten adressieren folgende Herausforderungen:

- **Senkung der Kosten der Roboterprogrammierung bei Automatisierungslösungen.** Die Lösungsansätze aus dem Projekt SeRoNet tragen zur Wiederverwendbarkeit der Hardware und insbesondere der Software-Komponenten bei und liefern somit einen wesentlichen Beitrag zur Kostensenkung.
- **Vereinheitlichung der Schnittstellen für Engineering- und Simulationstools.** Einheitliche Datenaustauschformate und aufeinander abgestimmte Engineering-Werkzeuge ohne Medienbrüche, die in den Projekten INTEGRATE und DEVEKOS erarbeitet werden, ermöglichen eine nahtlose Zusammenarbeit verschiedener Stakeholder bis zur Inbetriebnahme der Produktionsanlagen sowie eine effiziente Wiederverwendung der Lösungsbausteine im Engineeringprozess.
- **Konsistenzprüfung der Informationsmodelle und Standards.** Inkonsistente Modellierungen verhindern die Kommunikation von Komponenten unterschiedlicher Systeme miteinander. Grund sind oftmals historisch gewachsene Systeme und Softwareplattformen mit individuellen, nicht veränderbaren Datenformaten und Kommunikationsstrukturen. Lösungsansätze, welche zur Vereinheitlichung der Formate beitragen und die Suche nach geeigneten Standards und Begrifflichkeiten von Produkt- und Komponentenbeschreibungen (Semantik) erleichtern, werden im Rahmen von ROBOTOP entwickelt. Dies führt zur Senkung der Mehrkosten seitens der Hersteller von Automatisierungslösungen.

Abbildung 1 stellt die Einordnung der PAiCE-Projekte in den Produktlebenszyklus des RAMI 4.0 dar. Die Anwendungsbeispiele zum Informations- und Datenaustausch aus den Projekten sind in weitere Dimensionen des RAMI4.0 (Functional/Business, Communication/Information und Asset/Integration) eingebettet, die einzeln pro Projekt vorgenommen wurden.

## 1.1 SeRoNet

Im Projekt SeRoNet wird eine offene IT-Plattform (erreichbar unter: [www.robot.one](http://www.robot.one)) für Anwender, Systemdienstleister, Robotik- und Komponentenhersteller im Bereich der Servicerobotik aufgebaut. Auf der Plattform entwickeln Soft- und Hardwarehersteller, Dienstleister und Kunden arbeitsteilig Lösungen für Serviceroboteraufgaben, jeweils gemäß ihren individuellen Anforderungen. Ziel ist es, den Aufwand für die Software-Entwicklung in der professionellen Servicerobotik deutlich zu senken. Möglich macht dies ein modularer, kollaborativer und kompositionsorientierter Entwicklungsansatz, bei dem Lösungen aus vorgefertigten Bausteinen zusammengesetzt werden. Systemintegratoren können sich durch schnellere Entwicklungszyklen neue Märkte erschließen, vor allem im Bereich kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU). Technische Grundlage für die Zusammensetzbarkeit von diesen Servicerobotersystemen bildet das offene Protokoll OPC UA mit modellgetriebenen Werkzeugen.

### Konsortium

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA (Konsortialführung), FZI Forschungszentrum Informatik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Technische Hochschule Ulm, Universität Stuttgart, KUKA Roboter GmbH, Universität Paderborn, Ruhrbotics GmbH, Daimler TSS GmbH, Transpharm Logistik GmbH, Klinikum Mannheim Dienstleistungsgesellschaft mbH

### Ansprechpartner

Dr. Björn Kahl, Fraunhofer IPA  
 sekretariat@seronet-project.de

### Website

[www.seronet-project.de](http://www.seronet-project.de)

### 1.1.1 Einordnung SeRoNet in RAMI4.0

SeRoNet verknüpft auf seiner Plattform im Wesentlichen drei Rollen:

- Hersteller von Serviceroboter- und Automatisierungskomponenten
- Entwicklungsdienstleister wie Systemintegratoren
- Anwender von Servicerobotern und Automatisierungstechnik

Hinzu kommen die Plattformbetreiber selbst sowie verschiedene, sich dynamisch zusammensetzende Gremien und Gemeinschaften, die mit der Plattform interagieren.

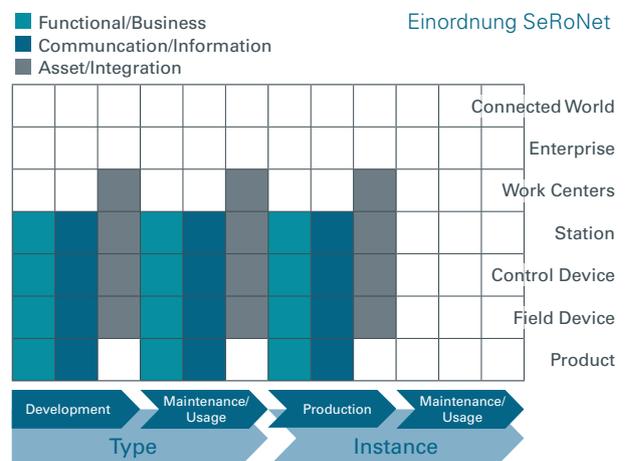


Abbildung 2: Einordnung von SeRoNet in RAMI 4.0

Der Austausch zwischen diesen Rollen erfolgt in strukturierter Form. Dabei kommen etablierte Formate sowie aufgabenspezifische Eigenentwicklungen zum Einsatz. Zwischen den in diesen Rollen Agierenden bestehen vielfältige Beziehungen, wie die folgenden zwei Szenarien beispielhaft zeigen.

### 1.1.2 Anwendungsbeispiele und Implementierung der Industrie 4.0 Konzepte

#### Szenario 1: Entwicklung einer neuen Serviceroboterlösung

Ausgangslage:

Ein potenzieller Anwender (z. B. ein Produktionsunternehmen oder größerer Handwerksbetrieb) hat die Idee, eine bisher manuell ausgeführte Tätigkeit durch Robotik zu unterstützen. Dem Anwender fehlt die Erfahrung mit Automatisierung, um eine konkrete Lösung zu spezifizieren, welche er direkt einkaufen oder maßfertigen lassen könnte. Auch fehlt das Marktwissen, welche Anbieter oder Entwicklungsdienstleister die richtigen Partner wären.

Vorteil der Plattform:

Auf der Plattform können die potenziellen Anwendenden ihre Problemstellung in geführten Dialogen anhand von Beispielen spezifizieren. Ebenso haben Entwicklungsdienstleister ihre Kompetenzen in einer strukturierter Form auf der Plattform hinterlegt. Die Plattform schlägt den Anfragenden eine Anzahl in Frage kommender Geschäftspartner vor. Für die Anwender entfällt damit die Notwendigkeit, sich zuerst mühsam eine eigene Marktübersicht zu verschaffen. Sie können sich stattdessen auf eine neutrale Vermittlung durch automatische Suchalgorithmen verlassen. Gleichzeitig bekommen die Entwicklungsdienstleister Zugang zu neuen Kunden. Diese Neukunden bringen durch die Plattformfunktion zur Anforderungsspezifikation eine strukturierte Anforderungsbeschreibung mit, wodurch Entwicklungsdienstleister und Anwendende in der Projektvorbereitung entlastet werden.

Ablauf (siehe Abbildung 3):

Geführte Spezifikation via Plattform:

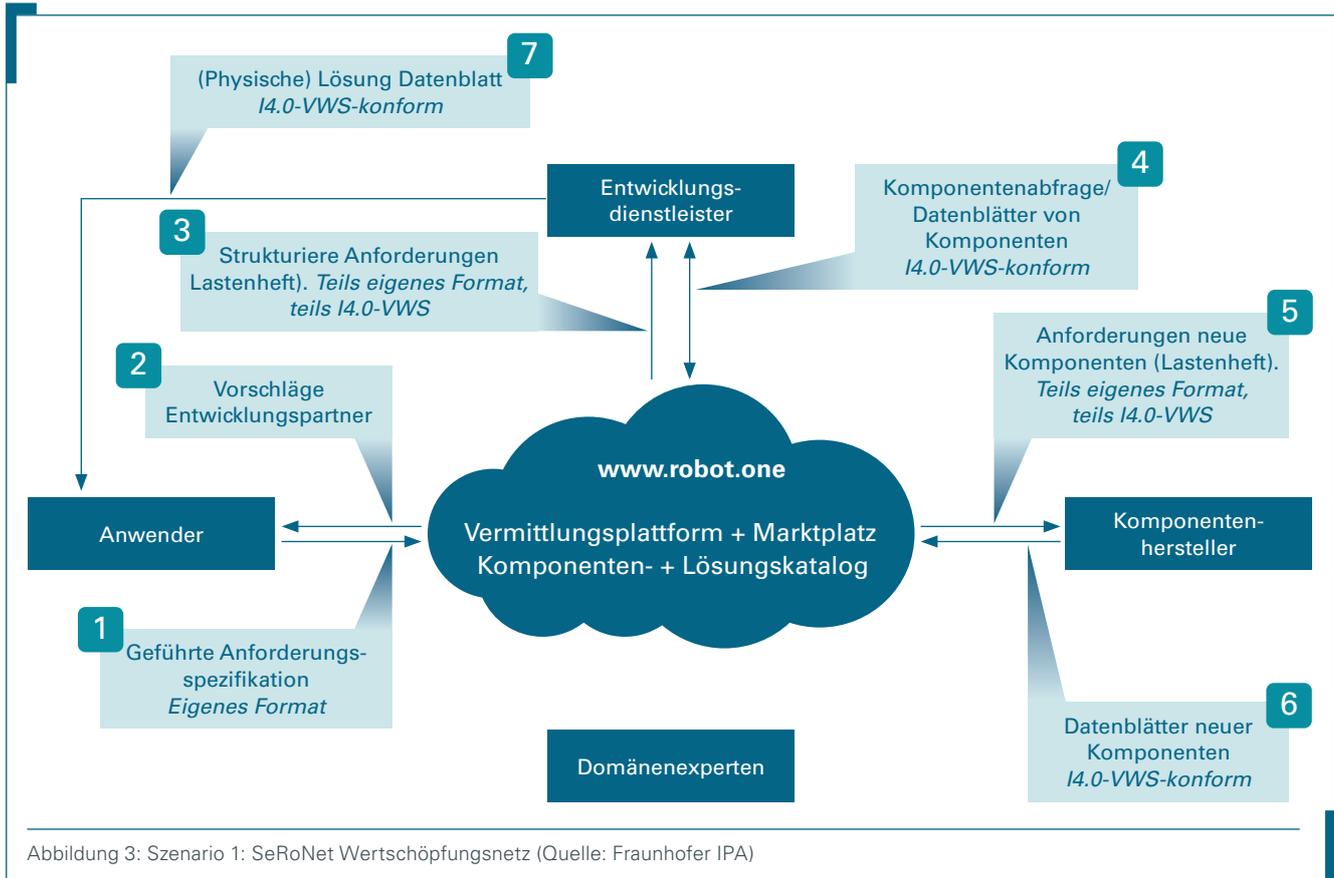
- Es entsteht eine Anforderungsspezifikation in SeRoNet-eigenem Format
- Gespeichert als RDF-Graph<sup>1</sup>
- Strukturell an AutomationML und Verwaltungsschale angelehnt

Vermittlung geeigneter Entwicklungsdienstleister:

- Abgleich der Anforderungsspezifikation mit hinterlegten Lösungen und Kompetenzprofilen
- Kompetenzprofile in eigenem Format, kodiert in RDF
- Lösungsbeschreibungen strukturell an AutomationML und Verwaltungsschale angelehnt, kodiert in RDF (Resource Definition Framework)
- Bilaterale Abstimmung Anwendende mit Entwicklungsdienstleister: Teils Freiform, teils geführte Dialoge über die Plattform
- Suche passender Bausteine durch Entwicklungsdienstleister auf Plattform
  - Bausteinbeschreibungen in RDF, konform zu Verwaltungsschale mit SeRoNet-spezifischen Erweiterungen
- Ggf. Beauftragung passgenauer neuer Komponenten
  - Anforderungsspezifikation in RDF, strukturell an AutomationML und Verwaltungsschale angelehnt
- Implementierung der Lösung durch Entwicklungsdienstleister

<sup>1</sup> RDF: Resource Description Framework, Beschreibungsstandard für semantische Netzwerke.

- Auslieferung und Betrieb beim Anwender
  - Lösung auf OPC UA Basis
  - SeRoNet-native Komponenten sind OPC UA Server bzw. Clients



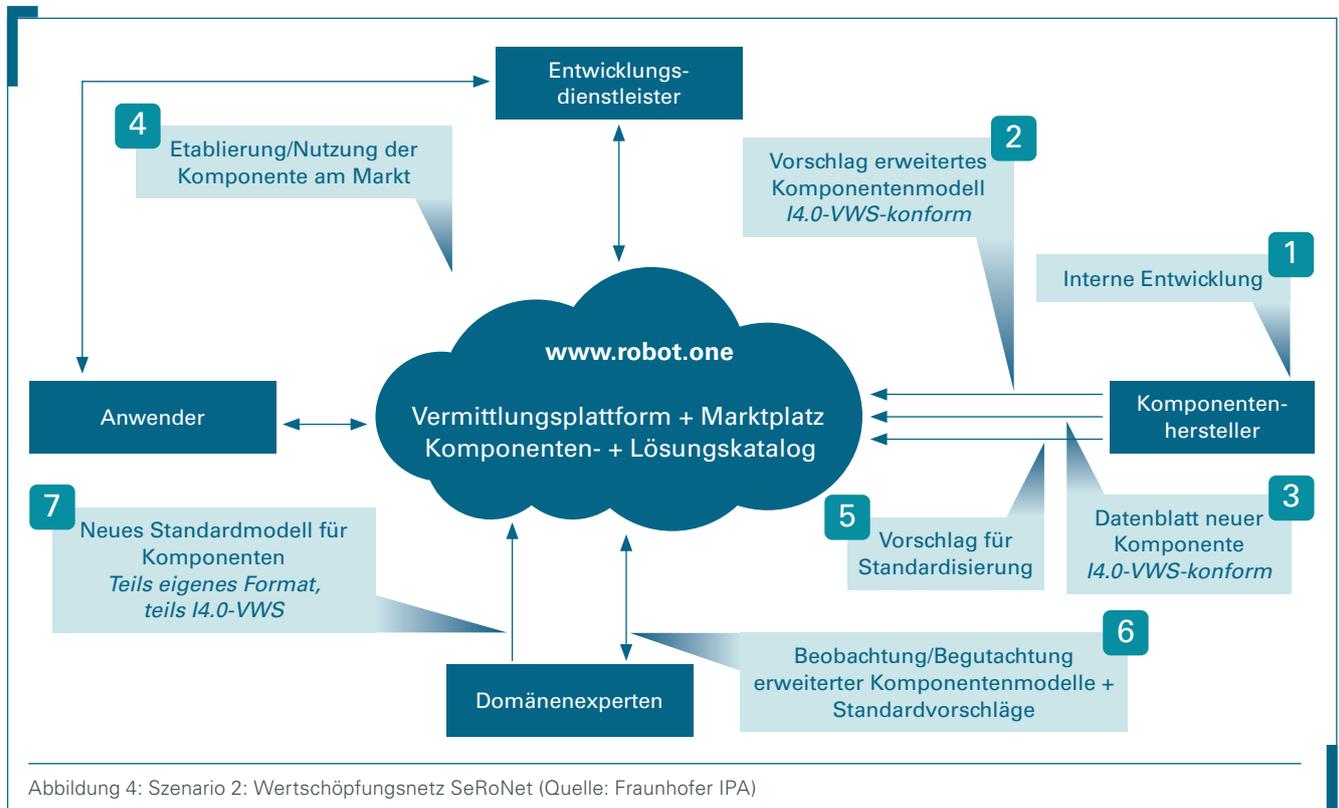
## Szenario 2: Definition einer neuen Komponentenklasse

### Ausgangslage:

Der Hersteller einer Komponente bringt eine neue, erweiterte Version auf den Markt, die über Eigenschaften verfügt, welche die bisherige Definition einer entsprechenden Komponente deutlich übersteigt.

### Vorteil der Plattform:

Durch die Sicherung größtmöglicher Kompatibilität von Bausteinen unterschiedlicher Hersteller entstehen niedrigere Kosten in der Systemintegration und ein größerer Absatzmarkt für Komponentenhersteller. Die Komponentenentwicklung vereinfacht sich, da Schnittstellendetails aus einem großen Katalog von Datentypen und Kommunikationseigenschaften ausgewählt werden können. Der Implementierungsaufwand ist bei der Verwendung vorhandener Schnittstellendefinitionen minimal.



#### Ablauf (siehe Abbildung 4)

- Interne Spezifikation eines erweiterten Modells des Komponententyps beim Hersteller
  - Herstellereigenes Format oder SeRoNet-Format des Komponentenmodells
  - SeRoNet-Komponentenmodell in RDF, konform zur Verwaltungsschale mit SeRoNet-spezifischen Erweiterungen
- Vorlage des erweiterten Modells bei Plattformbetreiber und Annahme
  - Annahme kann nur verweigert werden, wenn der Herstellervorschlag einem anderen, bereits akzeptierten Vorschlag zur Erweiterung der Modellierung widerspricht oder strukturell zu ähnlich ist. In dem Fall wird ein konsolidierter Vorschlag für die Erweiterung des Komponentenmodells erstellt. Die Prüfung betrifft nur die Modellierung, nicht die implementierte Funktionalität, welche einzig Sache des jeweiligen Herstellers ist.
  - Vorgeschlagenes Modell in RDF, konform zur Verwaltungsschale mit SeRoNet-spezifischen Erweiterungen
- Herstellerspezifische Erweiterung des Komponentenmodells, wie mit Plattformbetreibern abgestimmt
  - Modell in RDF, konform zur Verwaltungsschale mit SeRoNet-spezifischen Erweiterungen
- Nutzung und Etablierung am Markt
- Einreichung der herstellereigenen Modellierung für Standardisierung
  - Vorgeschlagenes Modell in RDF, konform zur Verwaltungsschale mit SeRoNet-spezifischen Erweiterungen
- Diskussion in relevanten Gremien und Beschluss formaler Spezifikation
- Integration in Modellkatalog der Plattform
  - Modelle in RDF, konform zur Verwaltungsschale mit SeRoNet-spezifischen Erweiterungen

### 1.1.3 Bewertung der Industrie 4.0-Konzepte und -Modelle

SeRoNet setzt für die drei identifizierten Domänen Systemkomposition, Laufzeitdaten und Verwaltungsdaten für die Systemkomposition auf neu entwickelte Ergebnisse des europäischen RobMoSys-Projektes. Diese primär aus dem akademischen Umfeld stammenden Konzepte erfahren in SeRoNet eine konkrete Implementierung im industriellen Kontext. Für die Laufzeitdaten und die Verwaltungsdaten setzt SeRoNet auf die etablierten Industriestandards OPC UA und die Verwaltungsschale.

#### Beziehung zu RAMI/Verwaltungsschale:

SeRoNet evaluiert derzeit die Spezifikation „Verwaltungsschale im Detail“ als Basis für den beschreibenden Teil des Datenblatts einer SeRoNet-Komponente oder -Lösung. Zusammen mit Vertreterinnen und Vertretern des I4.0 Forums des Fraunhofer IAIS wurde ein Konzept für eine gemeinsame Abbildung der Verwaltungsschale auf RDF erarbeitet. SeRoNet begleitet die weitere technische Implementierung und passt die eigene Modellierung sukzessive an. Der technische Teil des SeRoNet-Datenblattes wird über die in Industrie 4.0 vorgesehenen Methoden zur Anbindung extern definierter Submodelle integriert, womit SeRoNet-Komponenten vollständig kompatibel zur I4.0 Verwaltungsschale sein werden.

Die vorliegende Spezifikation der Verwaltungsschale von Dezember 2018<sup>2</sup> hat sich hierbei als ausreichend flexibel erwiesen, um unterschiedliche Rahmenwerke für (Software-)Komponenten zu beschreiben.

#### Beziehung zu OPC UA

SeRoNet nutzt auf unterer Ebene OPC UA als Kommunikationsstandard. SeRoNet-Komponenten sind konzeptionell auch gleichzeitig OPC UA-Server mit einer entsprechenden Struktur. Allerdings erfordern die erweiterten Möglichkeiten der Systemkomposition in SeRoNet eine über die „normalen“ OPC UA-Standards hinausgehende, striktere Modellierungen und Beschränkungen des Datenzugriffs auf den sogenannten „Adressraum“ der OPC UA-Server/-Komponenten, was eine tatsächliche Interoperabilität mit einfachen OPC UA-Geräten erschwert. In SeRoNet gibt es dafür spezielle Komponenten, die eine Brücke zwischen beiden Welten bilden sollen.

OPC UA und die existierenden Implementierungen, wie das in SeRoNet genutzte open62541 Rahmenwerk, haben sich dabei als geeignet und ausreichend gut und kompatibel erweiterbar erwiesen, um moderne Konzepte des modellgetriebenen Software-Engineering umzusetzen.

Auf der Ebene des beschreibenden Teils des Datenblattes hofft SeRoNet auf Impulse aus den OPC UA-Companion-Spezifikationen, die im Bereich der Robotik entstehen.

#### Beziehung zu AutomationML

AutomationML spielt im Projekt SeRoNet bisher keine wesentliche Rolle, da SeRoNet in erster Linie auf die Modellierung, Entwicklung und den Einsatz von modularer Software zielt. AutomationML hingegen ist stark hardwarelastig. Soweit in SeRoNet hybride Komponenten (Hardware mit SeRoNet-konformen Datenschnittstellen) beschrieben werden, soll perspektivisch der Hardwareteil mit AutomationML umgesetzt werden. Hierzu steht allerdings noch eine eingehendere Evaluation der Sprache AutomationML vor dem Hintergrund der SeRoNet-Anforderungen aus.

---

2 <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/2019-verwaltungsschale-in-der-praxis.html>

SeRoNet umfasst im Tooling die Modellierung von Komponenten und Systemen, die Implementierung von Komponenten und das Ausrollen von Lösungen in vernetzten Systemen. Darüber hinaus ist SeRoNet eine Marktplatz- und Dienstleistungsvermittlungsplattform.

### 1.1.4 Empfehlungen an die Plattform Industrie 4.0

Derzeit entstehen in mehreren Projekten und privatwirtschaftlichen Initiativen Komponentenmodelle und Marktplattformen im Bereich Automatisierungstechnik und Robotik. Teilweise konkurrieren diese in ihrer Zielsetzung, teilweise ergänzen sie sich. Plattformen leben von einer möglichst weiten Verbreitung bzw. möglichst hohen Mitgliederzahlen. Während ein breiter Wettbewerb von Ideen und Konzepten aus technischer/wissenschaftlicher Sicht sehr zu begrüßen ist, schwächt ein Wildwuchs an Plattformen und Standards letztlich durch Marktzersplitterung alle beteiligten Initiativen.

In der Robotik entstehen zurzeit zahlreiche Plattformen, sowohl technischer Art als auch Marktplätze. Ein tatsächlicher Nutzen für die Robotik als Ganzes ergibt sich jedoch nur, wenn diese Plattformen kompatibel sind oder durch eine zügige Marktkonsolidierung nur sehr wenige Plattformen bestehen bleiben. Aus Sicht des SeRoNet-Ökosystems besteht daher an drei Stellen Bedarf für Vereinheitlichung:

#### Technische Vereinheitlichung

Komponenten unterschiedlicher Softwareplattformen (z. B. ROS<sup>3</sup>, OPC UA, SmartSoft<sup>4</sup>) müssen entweder direkt miteinander kommunizieren können (was i. d. R. nicht der Fall ist) oder eine ausreichend genaue und interoperable Modellierung enthalten, die es erlaubt, Übersetzungen automatisch oder zumindest werkzeuggestützt zu generieren. Dazu sind sowohl einheitliche Datenformate als auch einheitlich genutzte Kommunikationsmuster notwendig. Soweit eine Vereinheitlichung der Datenformate und Kommunikationsmuster aus wirtschaftlichen oder anderen Gründen nicht möglich oder nicht gewünscht ist, bedarf es einer einheitlichen Beschreibung der jeweiligen unterschiedlichen Formate und Muster.

RobMoSys unternimmt in diesem Kontext Bestrebungen hin zu einer technischen Vereinheitlichung auf europäischer Ebene.

In SeRoNet selbst sind umfassende Werkzeuge zur weitgehend automatischen Analyse von ROS-Systemen entstanden (veröffentlicht unter anderem auf der MODELS-2019 Konferenz). Mit diesen können aussagekräftige Modelle, aus existierenden ROS-Systemen extrahiert und teilautomatisiert werden, um eine Konversion in SeRoNet-Komponenten und Systeme zu ermöglichen, was eine Anbindung an OPC UA beinhaltet.

#### Vereinheitlichung von Produktbeschreibungen

Hersteller, insbesondere solche ohne eigene Marktplattform, möchten ihre Produkte möglichst breit anbieten. Dazu müssen sie ihre Produkte so beschreiben, dass sie auf den unterschiedlichen Marktplattformen möglichst gut gefunden werden. Unterschiedliche Formate für Produktbeschreibungen führen hier zu Mehrkosten der Hersteller.

<sup>3</sup> ROS (Robot Operating System): Software-Framework für die Robotersteuerung mit Open Source-Lizenz. Träger ist die Open Source Robotics Foundation.

<sup>4</sup> SmartSoft: Satz von Entwurfsregeln, Referenzimplementierungen, Modellierungswerkzeugen und Softwarekomponenten für Robotersteuerungs-Software. Entwickelt von der TH Ulm.

Verschiedene Beschreibungen gleicher Funktionalitäten können außerdem zu unterschiedlich starker Sichtbarkeit und damit zu unerwünschten Wettbewerbsvorteilen führen (insbesondere, wenn Beschreibungen gezielt in manipulativer Absicht erstellt werden). Für einen fairen Wettbewerb sowohl innerhalb einer Marktplattform als auch zwischen Plattformen sind daher Regeln zur Produktbeschreibung notwendig. Eine strukturierte, formal definierte, einheitliche Beschreibung ermöglicht neue Dienste und Geschäftsmodelle für die Plattformbetreiber, so z. B. die Vermittlungsfunktion der SeRoNet-Plattform.

Bisher gibt es keine allgemein akzeptierten Ansätze für eine solche Beschreibung. Klassifikationen wie „eCl@ss“ sind zu grob, um für die Systementwicklung relevante Daten zu transportieren. Die im Industrie 4.0-Kontext diskutierte Verwaltungsschale bietet mit der Spezifikation „Verwaltungsschale im Detail“ eine grundlegende Struktur, definiert jedoch keine Inhalte, sondern nur Elemente einer Beschreibungssprache. SeRoNet arbeitet hier an einer konkreten Umsetzung sowie Vorschlägen für eine inhaltliche Ausgestaltung.

### Kompetenz- und Anforderungsmanagement

Plattformen stehen zwar häufig in Konkurrenz miteinander, ergänzen sich mitunter aber auch. Beispielsweise wurden für die Plattformen der Projekte ROBOTOP, RoboPORT und SeRoNet bereits Möglichkeiten der Kooperation und des „Weiterreichens“ von Kunden diskutiert.

Eine solche Zusammenarbeit oder die Nutzung der Dienste einer „Plattform B“ im Hintergrund einer Plattform „A“ setzen jedoch interoperable Beschreibungen der wesentlichen Geschäftsdaten voraus. Beispiele sind die Beschreibung der Anforderungen an eine Serviceroboterlösung oder der Eigenschaften von Roboterkomponenten.

## 1.2 ROBOTOP

Im Projekt ROBOTOP wird eine offene Plattform entwickelt, um den Massenmarkt für Roboter in Service-, Logistik- und Fertigungsanwendungen zu erschließen. Auf der Plattform lassen sich intelligente, standardisierte und wiederverwendbare Hardware- und Peripherie-Komponenten zu individuellen Robotik-Lösungen kombinieren. Vor der eigentlichen Installation können die Lösungen durch 3D-Simulationen auf ihre Passfähigkeit untersucht werden. So können die notwendigen Aufwände für Angebots- und Engineering-Entwicklungen sowie die Kosten für die Planung und Gestaltung von industriellen Robotik-Lösungen deutlich reduziert werden.

### Konsortium

ICARUS Consulting GmbH (Konsortialführung), Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Infosim GmbH & Co. KG, Institut für Produktionstechnik (wbk) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Robert Bosch GmbH, Lehrstuhl für Produktionssysteme (LPS) der Ruhr-Universität Bochum, SCHUNK GmbH & Co. KG, Institut für Produktionssysteme (IPS) der Technischen Universität Dortmund

### Ansprechpartner

Jan-Peter Schulz, ICARUS Consulting GmbH  
 jan-peter.schulz@icarus-consult.de

### Website

[www.robotop-konfigurator.de](http://www.robotop-konfigurator.de)

### 1.2.1 Einordnung von ROBOTOP in RAMI4.0

Eine grundlegende Herausforderung von ROBOTOP besteht darin, analoge und verteilte digitale Informationen über Automatisierungskomponenten und -konzepte in ein einheitliches Informationsformat zu überführen. Darüber hinaus ist gerade auf der Business-Ebene eine Kommunikation mit weiteren Webplattformen von Herstellern sowie Software-Microservice-Anbietern notwendig. Da sich ROBOTOP in der Grobplanungsphase von roboterbasierten Automatisierungslösungen (Development) befindet, spielt vor allem der Typ (Type) von Komponenten und Lösungen und weniger die konkrete Instanz (Instance) eine Rolle.

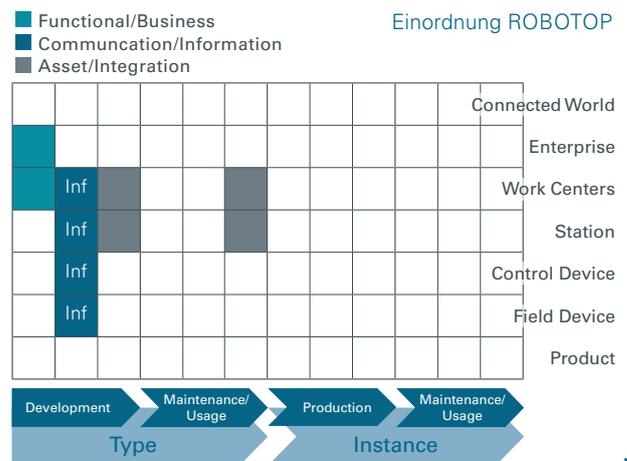
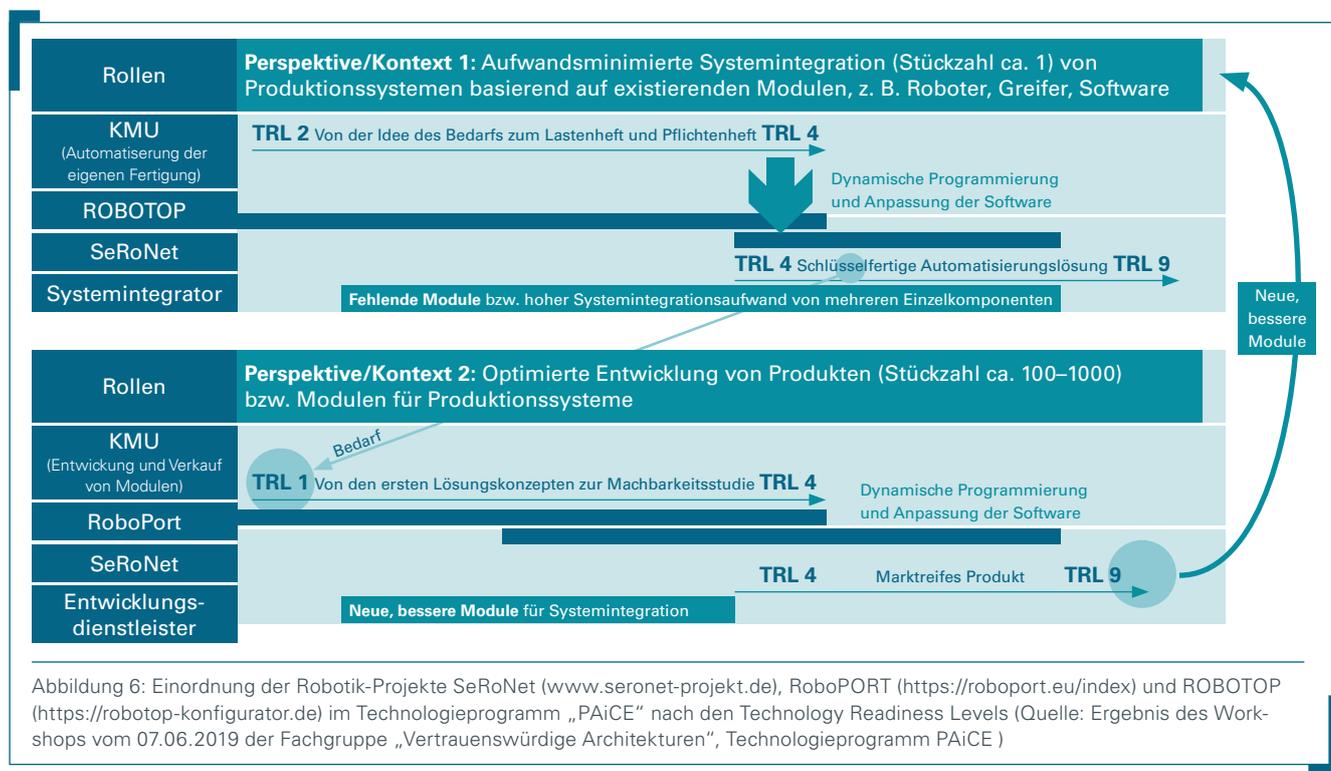


Abbildung 5: Einordnung von ROBOTOP in RAMI 4.0

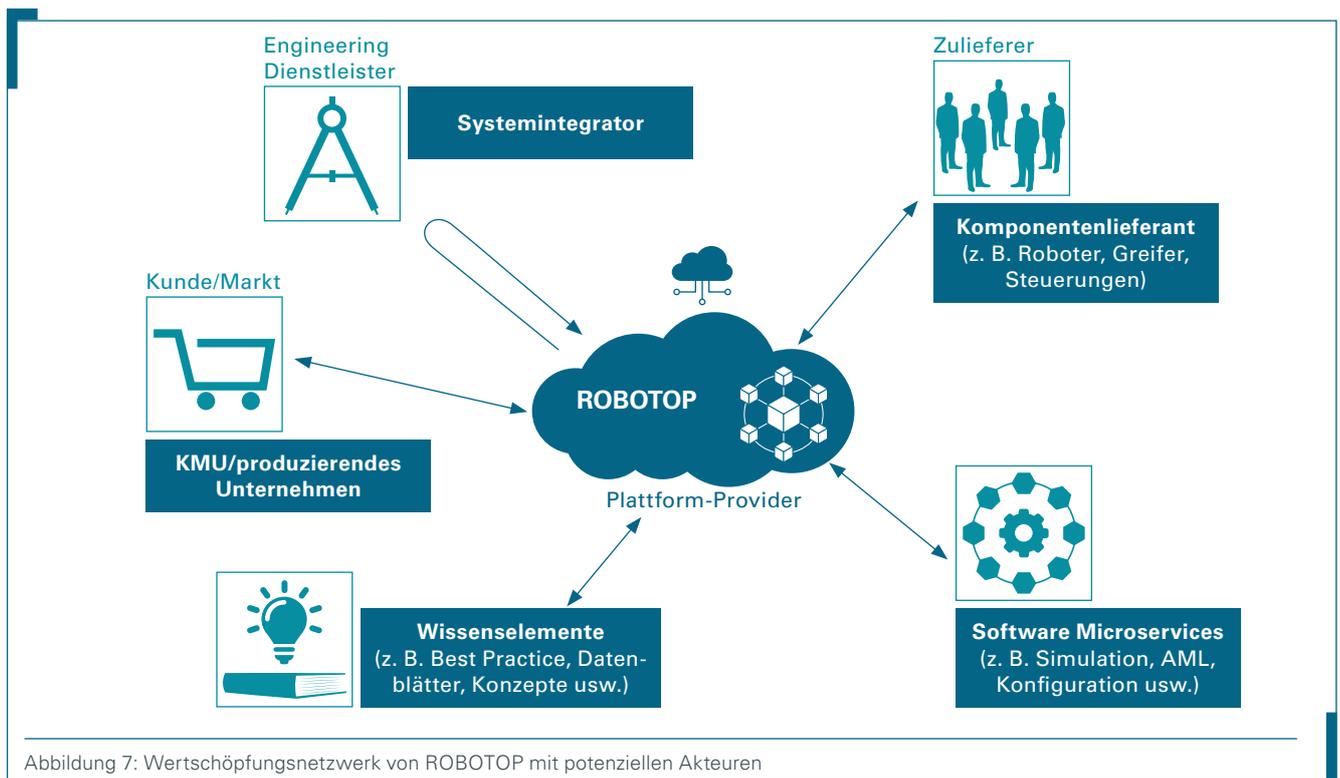
### 1.2.2 Anwendungsbeispiele und Implementierung der Industrie 4.0 Konzepte

Der Begriff „Product Life Cycle“ bezeichnet den klassischen Produktlebenszyklus und betrachtet nur untergeordnet den Zyklus von Produktionssystemen. Jedoch können Produktionssysteme einen ähnlichen Zyklus durchlaufen wie Produkte. Im Rahmen der Robotik-Plattformprojekte ist zwischen Produktentwicklung und Systemintegration zu unterscheiden. ROBOTOP fokussiert sich insbesondere auf die frühen Planungsstadien des Systemintegrationsprozesses. KMUs werden dabei unterstützt, von einem ersten Handlungsbedarf zu einem ersten Grobkonzept der Automatisierungslösung und einer Anpassungskonfiguration zu gelangen, bspw. um auf Basis von Best Practices die Planungseffizienz zu erhöhen. Die Systemintegration muss dabei häufig mit geringen Stückzahlen arbeiten, d. h. die meisten Systemintegrationslösungen sind Individuallösungen – hingegen werden Produkte wie bspw. ein konkreter Roboter oder Greifer in vergleichsweise großer Stückzahl gefertigt. Sowohl Produkte als auch Produktionssysteme können dabei verschiedene technologische Reifegrade besitzen, von der „Idee des Bedarfs“, bis zur TRL 9 erprobten schlüsselfertigen Automatisierungslösung.

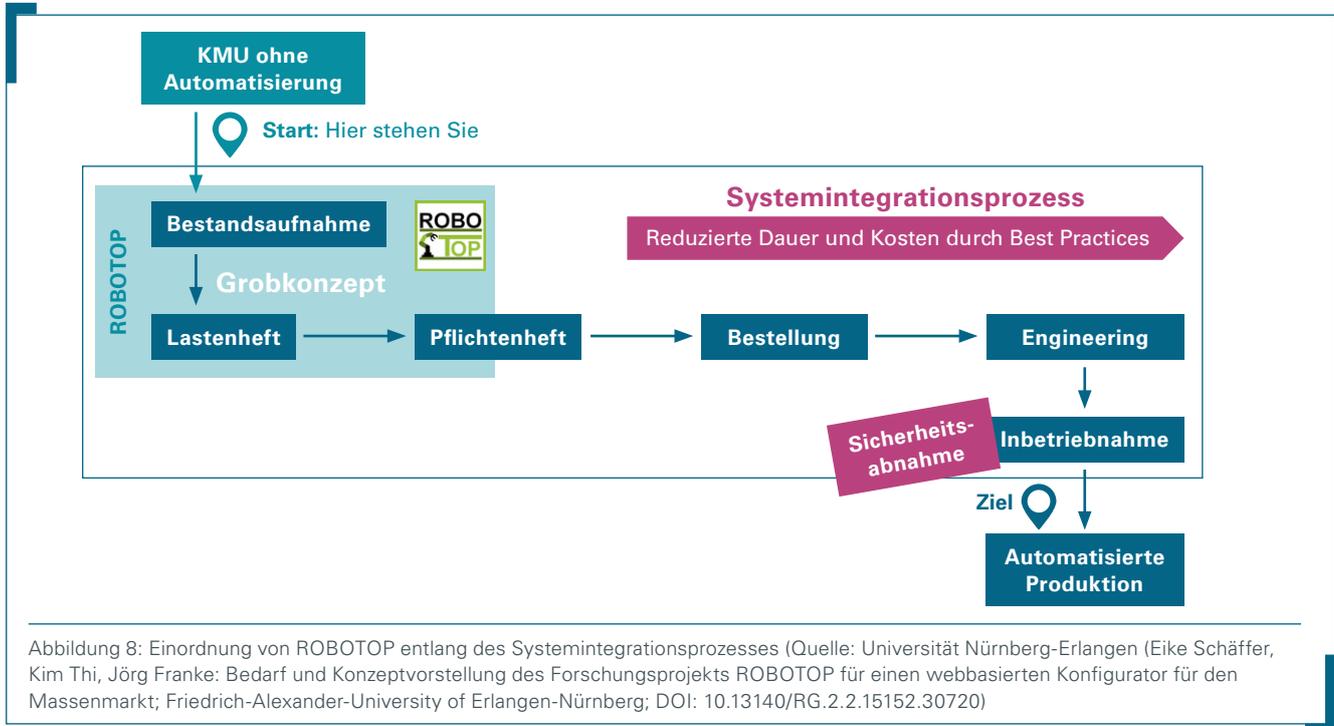
ROBOTOP funktioniert nach dem Baukasten-Prinzip: Auf einer Webplattform können intelligent standardisierte Hardware-Komponenten flexibel konfiguriert werden. So lassen sich Komponenten wie Roboter, Greifer, Steuerung oder Sensorik modular zu individuellen Automatisierungslösungen kombinieren.



Mögliche Wertschöpfungsnetzwerkpartner von ROBOTOP sind produzierende KMUs, die ein Interesse an standardisierten, wirtschaftlichen Automatisierungslösungen haben. Engineering-Dienstleister können über die ROBOTOP Plattform Systemintegrationsleistungen und -lösungen anbieten bzw. verkaufen. Hersteller von Roboter-, Greifer- oder Sensorkomponenten haben ein Interesse an umsatzsteigernden Maßnahmen und somit auch an einer Erhöhung der Stückzahlen ihrer Automatisierungslösungen. Software-Microservice-Anbieter können der Plattform einzelne Funktionen in Form von Microservices bereitstellen, wie z. B. Datenkonvertierung, Datenexport basierend auf AutomationML (AML), Simulation oder Spezial-Konfiguratoren. Zusätzlich wären neue Berufsprofile von Firmen denkbar, die dedizierte, digitale Wissens Elemente für Webplattformen bereitstellen, wie z. B. Best Practices, Wissens-Bibliotheken oder kinematisierte sowie funktionale digitale Komponentenbibliotheken.



Vor allem für kleinere Unternehmen stellt der hohe Aufwand und die damit verbundene Komplexität für die Integration und Entwicklung von wirtschaftlich sinnvollen Robotiklösungen eine Herausforderung dar. Bislang werden häufig Systemintegratoren als Engineering-Dienstleister beauftragt, welche hoch spezialisierte und individuelle Lösungen erstellen, wodurch hohe Kosten entstehen.



### Anwendungsfelder AutomationML

AutomationML wird auf der ROBOTOP Plattform für die interne Kommunikation sowie als Import- bzw. Exportformat und damit als Datenformatschnittstelle zum Benutzer bzw. anderen Systemen genutzt. Intern dient AutomationML in der Microservice-Architektur im Backend dem Datenaustausch zwischen einzelnen Microservices. Die Schnittstellen der Microservices sind so konzipiert, dass diese möglichst einfach an verschiedenste vor- bzw. nachgelagerte Microservices angebunden werden können. Das hierfür verwendete Container Austauschformat AutomationMLX bietet den Vorteil, dass der Datenaustausch ohne Schnittstellenanpassung erfolgen kann, da sowohl das Eingangsformat als auch das Ausgangsformat weitgehend identisch bleiben und lediglich durch den Service um die jeweiligen Informationen erweitert werden. Der entsprechende Service verarbeitet ausschließlich die für ihn wichtigen Informationen aus dem AutomationMLX-Dokument und ergänzt dieses in gewünschter Weise. Als Ausgangsformat wird die überarbeitete AutomationMLX bereitgestellt. Damit ist der Implementierungsaufwand an andere Services auf ein Minimum beschränkt und die Voraussetzung zur Realisierung modular aufgebauter und universal austauschbarer Microservices geschaffen.

Neben dem internen Gebrauch wird AutomationML zum Datenaustausch mit dem Benutzer verwendet, der über eine einfache Nutzeroberfläche standardisierte, neue AutomationML-Komponenten anlegen kann. Hierdurch kann das Problem der fehlenden einheitlichen Vorgabe der Struktur zur Beschreibung der Roboterkomponenten in AutomationML teilweise gelöst werden. Daneben wird der Export der Roboterkomponenten realisiert. AutomationML als neutrales Datenformat, basierend auf einem offenen Standard eignet sich in besonderem Maße. Mit dem Datenformat AutomationMLX wird die Möglichkeit geboten, neben allen notwendigen Attributen und Metadaten, auch Kinematik-Info-

nen, CAD-Geometrien und Datenblätter in einem Container zu speichern. Des Weiteren ist AutomationML auf einer XML-Struktur aufgebaut, was sowohl den maschinen- als auch den menschenlesbaren Zugriff ermöglicht. Im Ergebnis wird es so problemlos möglich, herstellerübergreifend die Komponenten zu beschreiben und für den User einfach auslesbar zu gestalten.

### 1.2.3 Bewertung der Industrie 4.0 Konzepte und Modelle

#### Verwendung der Konzepte Verwaltungsschale und AutomationML

AutomationML bietet eine sehr gute Möglichkeit digital ganzheitlich beschriebene Roboterkomponenten neutral und in einem offenen Datenformat auszutauschen. Hierbei ist es den Benutzenden zum einen möglich, die Informationen in AutomationML in einer wenig beschränkten Struktur einzubinden, zum anderen ist keine Definition der Begrifflichkeiten der Attribute bzw. der Klassen vorgegeben. Roboterkomponenten lassen sich dadurch auf verschiedenste Weise in AutomationML beschreiben. Um die Vergleichbarkeit und Maschinenlesbarkeit der Komponenten marktübergreifend zu ermöglichen, ist eine einheitliche Vorgabe der Struktur zur Beschreibung der Roboterkomponenten in AutomationML notwendig. Die Verwendung der in AutomationML beschriebenen Roboterkomponenten bietet weit über ROBOTOP hinaus Potential – so könnte sich dieses Datenformat als grundlegender Standard zum Datenaustausch von digital beschriebenen Roboterkomponenten in der Industrie durchsetzen. Hier ist es denkbar in Zusammenarbeit mit Roboterherstellern oder Systemintegratoren einen ISO-Standard zu definieren. Allerdings fehlt es noch an standardisierten Datenmodellen.<sup>5</sup> Ein erster Lösungsansatz wird dabei aufgezeigt, dieser müsste jedoch noch konsequenter weiterverfolgt und gefördert werden. Insbesondere fehlt bislang für AutomationML die nötige Beschreibung sowie eine reproduzierbare, vereinheitlichte Modellierungsmethodik für AutomationML Modelle.

### 1.2.4 Weiterentwicklung, Wünsche, Botschaften und Empfehlungen an die Plattform Industrie 4.0

Es werden Plattformen bzw. Möglichkeiten zur Bereitstellung und Wiederverwendung von digitalen Wissens-elementen benötigt, z. B. von Komponenten oder Konzeptlösungen. Gerade Wissen im Bereich Engineering wird bislang nur innerbetrieblich genutzt, da technische und rechtliche Möglichkeiten fehlen, um unternehmensspezifisches Know-how skalierbar und geschützt an verschiedene Firmen zu verkaufen. Einheitliche Standards der Wissens-elemente könnten den Markt, äquivalent zu einem App-Store im Smartphone Bereich, bereichern. Verschiedene Anbieter könnten in diesem Ökosystem anderen Firmen Teillösungen bzw. Wissens-elemente anbieten. Gerade in diesem Bereich ist noch viel Forschung nötig. Auch sollte mehr auf die Weiterentwickelbarkeit, Nachvollziehbarkeit und Standardisierung des Entwicklungsprozesses von Datenmodellen und Ontologien geachtet werden nach dem Vorbild des Automotive SPICE. Eine Automatisierung bzw. Optimierung des Entstehungsprozesses von nachhaltig anpassungsfähigen Datenmodellen ist mittels einer Process-Engine maschinell ausführbaren Prozesssprache BPMN 2.0 denkbar. Daher wird empfohlen, hierfür weitere Forschungsbudgets für Ansätze wie in <https://www.industrie-management.de/node/256> beschrieben bereitzustellen.

<sup>5</sup> Eine detaillierte Beschreibung der Problematik findet sich in: Eike Schäffer, Lars Penczek, Andreas Mayr, Jupiter Bakakeu, Jörg Franke und Bernd Kuhlenkötter: Digitalisierung im Engineering. Ein Ansatz für ein Vorgehensmodell zur durchgehenden, arbeitsteiligen Modellierung am Beispiel von AutomationML, in: Industrie 4.0 Management 35 (2019) 1, S. 61–66 (<https://www.industrie-management.de/node/256>).

### 1.3 INTEGRATE

Das Ziel des INTEGRATE Projekts ist die Entwicklung einer AutomationML basierten Plattform, die es einem Verbund von Entwurfswerkzeugen ermöglicht, die nicht über ein gemeinsames Datenbanksystem synchronisiert sind, über Planungsobjekte miteinander zu kommunizieren und so einen gemeinsamen Wissensraum der Engineering-Daten zu schaffen. Dazu bietet die Plattform neben Diensten, die den objektorientierten Datenaustausch für Engineering- und Laufzeitdaten unterstützen, auch neuartige Softwaredienste zur Konsistenzprüfung von Modellen, Simulation von Engineering-Artefakten, Sichtengenerierung und Verknüpfung von Modelldaten. Dadurch ist es möglich, Änderungen an Objekten rechtzeitig zu erkennen und an relevante Stellen im Entwicklungsverbund bzw. an Optimierungs- und Simulationssysteme weiterzugeben. Zudem entstehen Synchronisierungsstrategien wie das Erkennen von Inkonsistenzen und Widersprüchen, Vermeidung von Redundanzen oder die Integration von Teillösungen.

**Konsortium**

inpro – Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH (Konsortialführung), logi.cals automation solutions & services GmbH, ABB Ltd. und ABB-Forschungszentrum, FZI Forschungszentrum Informatik am Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb (IAF) an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

**Ansprechpartner**

Lorenz Hundt, inpro – Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH  
lorenz.hundt@inpro.de

**Website**

[www.integrate.ovgu.de/Das+Projekt.html](http://www.integrate.ovgu.de/Das+Projekt.html)

#### 1.3.1 Einordnung von INTEGRATE in RAMI4.0

Das Engineering eines Produktionssystems ist ein Prozess, in den verschiedenste Ingenieursdisziplinen zu integrieren sind. Er kann mit der Beschreibung der Menge der herzustellenden Produkte beginnen. Dabei entsteht ein Anforderungsmodell, das die zu verwendenden Materialien und die auf sie anzuwendenden Produktionsschritte beschreibt. Zu diesen können dann bekannte Produktionsressourcen ausgewählt und deren Nutzbarkeit simuliert werden. Im nächsten Schritt werden spezifische Entwurfsdisziplinen wie der Mechanikentwurf, der Elektrikentwurf und die Steuerungsprogrammierung die notwendigen Entwurfsdetails erzeugen. Diese ermöglichen eine virtuelle Inbetriebnahme des Produktionssystems und später deren Aufbau und physische Inbetriebnahme.

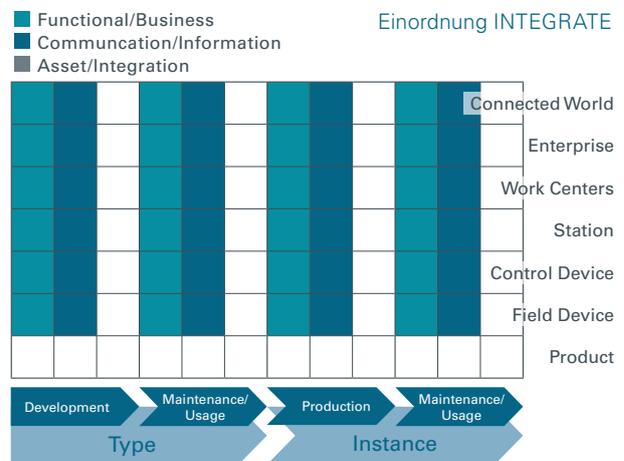


Abbildung 9: Einordnung von INTEGRATE in RAMI 4.0

Im Rahmen dieses Prozesses fließen Entwurfsartefakte über die Dienste-Plattform die von den jeweiligen Ingenieursdisziplinen erstellt bzw. benötigt werden. Sie beziehen sich dabei nicht wie bisher üblich auf gesamte Modelle, sondern auf die Modelldaten, die einzelne Anlagenobjekte betreffen. Sie sind in ihrer Granularität skalierbar für den Anwendungsprozess. Im Rahmen dieses Datenflusses werden zudem die Daten verschiedener Ingenieursdisziplinen aggregiert und ihre Konsistenz und Datensicherheit wird gewährleistet.

Am Ende des Entwurfsprozesses entsteht für jedes Anlagenobjekt ein Digitaler Zwilling, der in der Laufzeitphase des Produktionssystems weitere Mehrwertdienste ermöglicht und in der Form einer Verwaltungsschale gestaltet wird.

### **1.3.2 Anwendungsbeispiele und Implementierung der Industrie 4.0 Konzepte**

Im Maschinen- und Anlagenbau sind unterschiedlichste Akteure am Entwurf und der Erstellung eines technischen Systems beteiligt. Als ein dafür repräsentatives Beispiel eignet sich die Erstellung eines Montagesystems für einen Automobilzulieferer.

Der Entwurfsprozess eines solchen Montagesystems beginnt mit dem Entwurf der zu fertigenden Produktfamilie durch den Anlagen-Endnutzer, in diesem Falle der Automobilzulieferer. Dieser liefert Excel- oder CVS-Files an den Systemingenieur des Maschinenbauers, in denen die Materialliste und die Prozessschritte zur Erzeugung des Produktes beschrieben sind.

Auf dieser Basis kann der Systementwurf erfolgen. In diesem werden die notwendigen Ressourcen für die Produkterstellung definiert und sequenziert, sodass ein Angebot an den Automobilzulieferer erstellt werden kann. Dabei sind einige Zyklen zwischen Systemingenieur und Automobilzulieferer denkbar, an deren Ende ein Auftrag steht.

Ist der Auftrag erteilt, geht der Systementwurf an die Mechanikkonstruktion, die Elektroplanung und den Steuerungsentwurf, die quasi-parallel das Detail-Engineering des Montagesystems umsetzen und dazu weitere Entwurfsdaten austauschen. Der Steuerungsprogrammierer bekommt die Informationen vom Mechanik- sowie vom Elektroplaner und spielt an diese Entwurfsdaten zurück.

Die Ergebnisse des Detail-Engineerings (d. h. die Mechanik-, Elektrik- und Steuerungsprogrammierung) werden dann an die virtuelle Inbetriebnahme weitergegeben. Hier wird deren Korrektheit und Konsistenz geprüft. Dabei werden identifizierte Probleme an die vorgelagerten Entwurfsschritte zurückgereicht. Sind Korrektheits- und Konsistenzprüfung erfolgreich, werden die Entwurfsdaten an den Anlagenerstellenden und Inbetriebnehmenden weitergegeben.

Entlang dieses Prozesses werden unterschiedlichste Datenaustauschtechnologien verwendet. Der Automobilzulieferer stellt den nachfolgenden Ingenieuren zumeist tabellenbasierte Fileformate mit entsprechenden Objektlisten zur Verfügung. Der Systemingenieur wird zumeist ebenfalls tabellen-basierte Fileformate und ggf. XML Files erzeugen und weitergeben. Der Mechanikplaner liefert spezifische CAD Files bei denen STP und JT die bekanntesten sind. Elektroplaner und Steuerungsprogrammierer speichern ihre Daten zudem in spezifischen Datenbanken oder XML Formaten wie z. B. PLCopen XML. Der virtuelle Inbetriebnehmende ist filetechnisch zumeist Generalist und kann alle genannten Datenformate lesen und schreiben. Der finale Inbetriebnehmende erhält jedoch in der Regel eine

Papierdokumentation. Die Vorgehensweise birgt bedeutende Probleme: Verschiedene Arbeitsschritte werden an verschiedenen Werkzeugen wiederholt, da ein verlustfreier Datenaustausch nicht gegeben ist. So ist es insbesondere für Ingenieurinnen und Ingenieure besonders aufwendig, die notwendigen Daten für ihr Entwurfswerkzeug zu erschließen, d. h. aufzufinden und in das eigene Werkzeug zu übertragen. Hier wären Technologien zum verlustfreien Datenaustausch sinnvoll.

Entwurfsdaten können durch die quasi-parallele Entwicklung inkonsistent bzw. unvollständig sein. Eine Datenaggregation erfolgt erst zur virtuellen oder realen Inbetriebnahme. Entsprechend werden Fehler sehr spät erkannt, was ihre Behebung sehr teuer macht. Hier wäre eine durchgängige Datenlogistik bzw. ein durchgängiges Datenmanagement notwendig.

Die verschiedenen Entwurfsdaten sollten über die gesamte Laufzeit nutzbar sein. Dies würde verbesserte Methoden in den Bereichen Wartung und Prozessoptimierung ermöglichen, wofür jedoch Ressourcen für den Datenaustausch für zu schaffende Laufzeitsysteme benötigt werden.

Letztendlich sind Entwurfsdaten zudem sicherheitsrelevant. Data Security wird aber im Rahmen der Entwurfsprozesse nur bedingt und nur punktuell durch die beteiligten Ingenieure berücksichtigt.

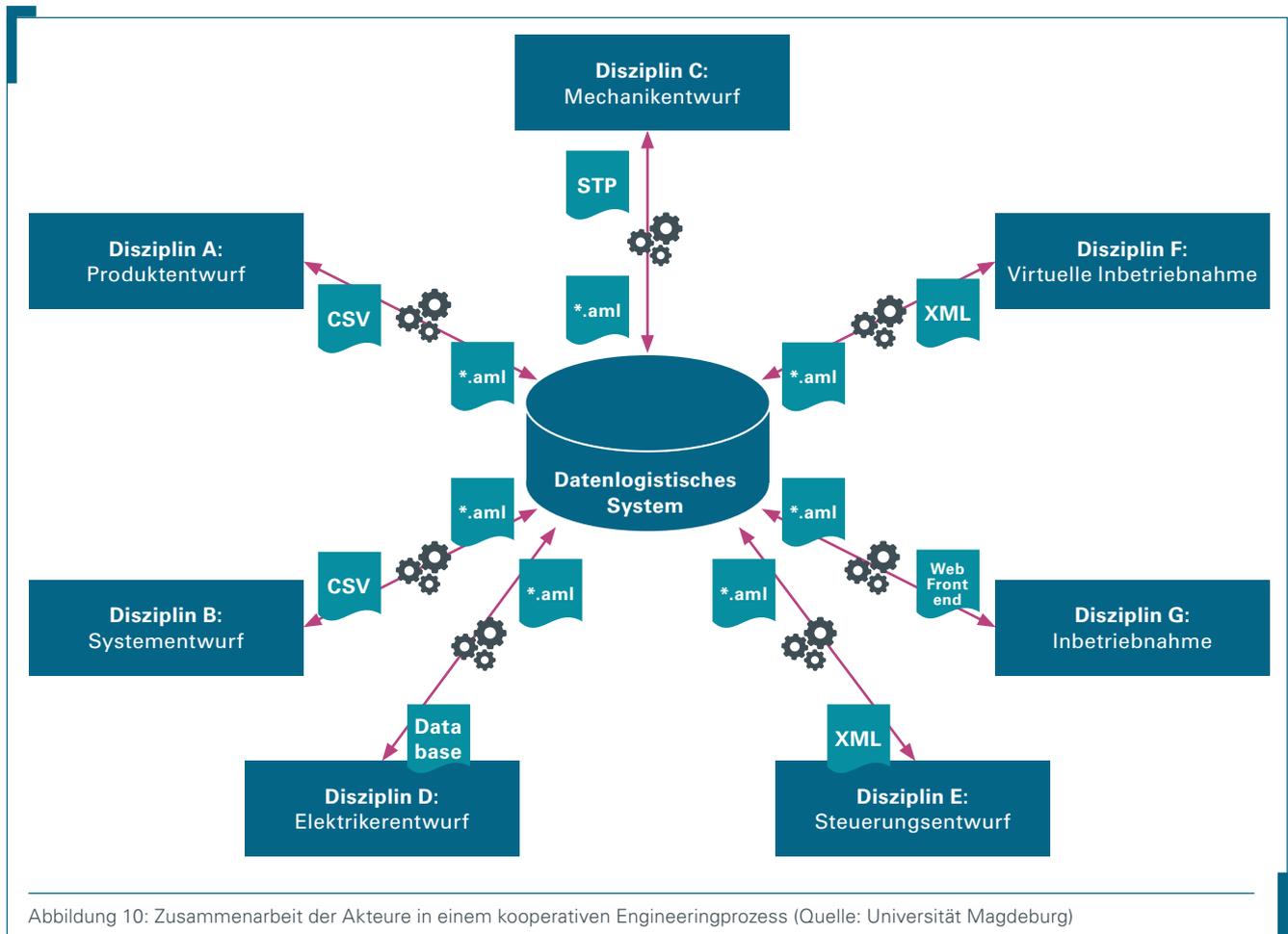
Die genannten Probleme können über eine zentralisierte Datenlogistik angegangen werden. Grundidee ist die Ersetzung des bilateralen Datenaustausches durch ein Datenmanagement, das Transport, Transformation, Aggregation bzw. Integration und die Auswahl von Entwurfsdaten ermöglicht. Hierzu werden für jedes an der Entwurfskette beteiligte Werkzeug entsprechende Adapter benötigt, die die nativen Datenformate in eine gemeinsame Datenwelt übertragen. Dafür bietet sich AutomationML entsprechend der Ergebnisse des INTEGRATE Projektes an. Hier können die Adapter sowohl filebasiert als auch als direkter Datenzugriff z. B. über eine REST Schnittstelle gestaltet werden.

Die Nutzung des Datenmanagements ändert nichts an der Reihenfolge im Entwurfsprozesses. Es ändert jedoch maßgeblich den Informationsfluss.

Jeder Datensender stellt seine Daten als disziplinspezifisches AutomationML File bereit, das in das Datenmanagementsystem eingelesen und in die bestehenden Daten integriert wird. Dabei kann bereits beim Einlesen zum Beispiel die Konsistenz der Daten und deren Korrektheit gesichert werden. Zudem wird ein verbessertes Projektmanagement möglich.

Jeder Datenempfangende kann aus dem aggregierten Datensatz des Gesamtprojektes die für ihn relevanten Daten in Form von disziplinspezifischen AutomationML Files auslesen. Die Informationssuche entfällt. Für den Inbetriebnehmenden wird ein papierloses Arbeiten unter Nutzung von Webterminals möglich.

Wichtig ist, dass die im Datenmanagement aggregierten Daten zu einzelnen Objekten des Produktionssystems als dessen Digitaler Schatten bzw. Digitaler Zwilling zur Entwurfszeit betrachtet werden können. Der Digitale Zwilling umfasst alle Informationen zur Konstruktion aus System-, Mechanik-, Elektrik- und Steuerungsplanung, aber auch alle relevanten betriebswirtschaftlichen (z. B. Hersteller- und Produktidentifikation von Geräten) und Inbetriebnahme relevanten Daten (z. B. Montagehandbücher).



Die erreichten Ergebnisse stimmen mit den Entwicklungen zur Industrie 4.0 Verwaltungsschale überein. Offen ist eine Standardisierung der relevanten disziplinspezifischen AutomationML Dialekte und deren Integration in die Verwaltungsschale sowie eine Harmonisierung mit der Industrie 4.0 Denkwelt.

### 1.3.3 Bewertung der Industrie 4.0-Konzepte und -Modelle

Das INTEGRATE Projekt hat die Nutzbarkeit von AutomationML umfassend bewertet und validiert. Es konnte nachgewiesen werden, dass AutomationML als Datenaustauschtechnologie sowohl über die Nutzung von filebasierten Konnektoren als auch über servicebasierte Schnittstellen folgend der Abstract-API des AutomationML e. V. problemlos zur Realisierung einer Integrationsplattform verwendet werden kann.

### 1.3.4 Weiterentwicklung, Wünsche und Botschaften sowie Empfehlungen an die Plattform Industrie 4.0

Eine fortschreitende Standardisierung von AutomationML, die auf den Schnittstellen verschiedenster Werkzeugklassen basiert, wird die Nutzbarkeit der Projektergebnisse und damit die Qualität und Effizienz von Entwurfsprozessen massiv befördern. Neben der aktuell erfolgten Spezifikation der Darstellung einer Verwaltungsschale für eine Industrie 4.0-Komponente mittels AutomationML ist wünschenswert, die entsprechenden Softwarehersteller und Endanwender zu einer gemeinsamen Schnittstellenstandardisierung zu motivieren.

## 1.4 DEVEKOS

Ziel des Projekts DEVEKOS ist es, herstellerübergreifende Standards für sämtliche zur Automatisierung von Maschinen oder Anlagen beitragenden Komponenten zu entwickeln, um Engineering- und Produktionsprozesse intelligenter, flexibler und effizienter zu gestalten. Die Automatisierungskomponenten sollen automatisch und in Echtzeit herstellerübergreifend zusammenarbeiten. Dafür will das Projekt standardisierte Schnittstellen schaffen, die auch eine effiziente Zusammenarbeit in der Entwicklung zwischen den Gewerken Vertrieb, Mechanik, Elektrik und Software ermöglichen.

### Konsortium

FESTO AG & Co. KG (Konsortialführung), ASYS Automatisierungssysteme GmbH, CODESYS GmbH, elrest Automationssysteme GmbH, fortiss GmbH, Häcker Automation GmbH, Harro Höfliger Verpackungsmaschinen GmbH, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, inIT – Institut für industrielle Informationstechnik, NewTec GmbH, SCHAEFF Maschinen GmbH & Co. KG, Softing Industrial Automation GmbH, Universität Stuttgart – Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen

### Ansprechpartner

Johannes Hoos, FESTO AG & Co.KG  
 johannes.hoos@festo.com

### Website

[www.devekos.org](http://www.devekos.org)

### 1.4.1 Einordnung von DEVEKOS in RAMI4.0

Während der vollständigen Phase des Engineerings wird die entstehende Automatisierungslösung vollständig in digitalen Modellen (AutomationML) abgebildet. Mit der Inbetriebnahme wird das digitale Lösungsmodell in OPC UA instanziiert und ist damit während der gesamten Betriebsphase digital repräsentiert.

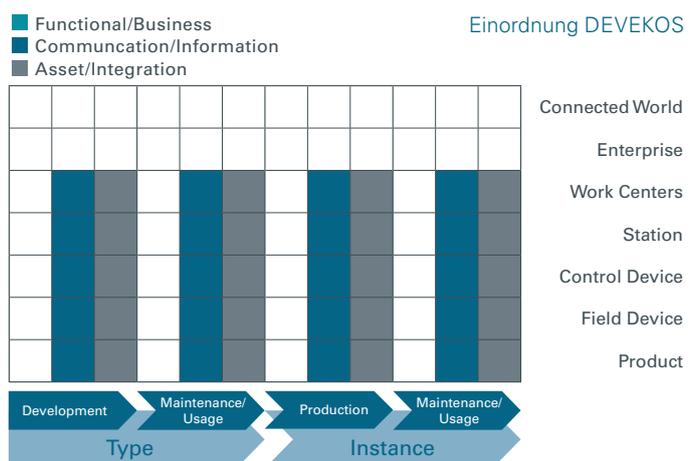
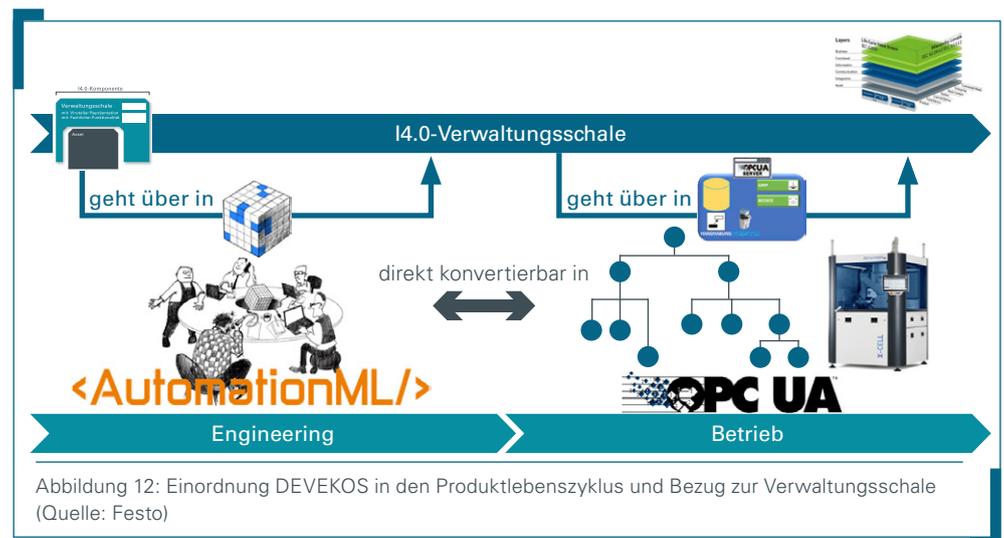


Abbildung 11: Einordnung von DEVEKOS in RAMI 4.0

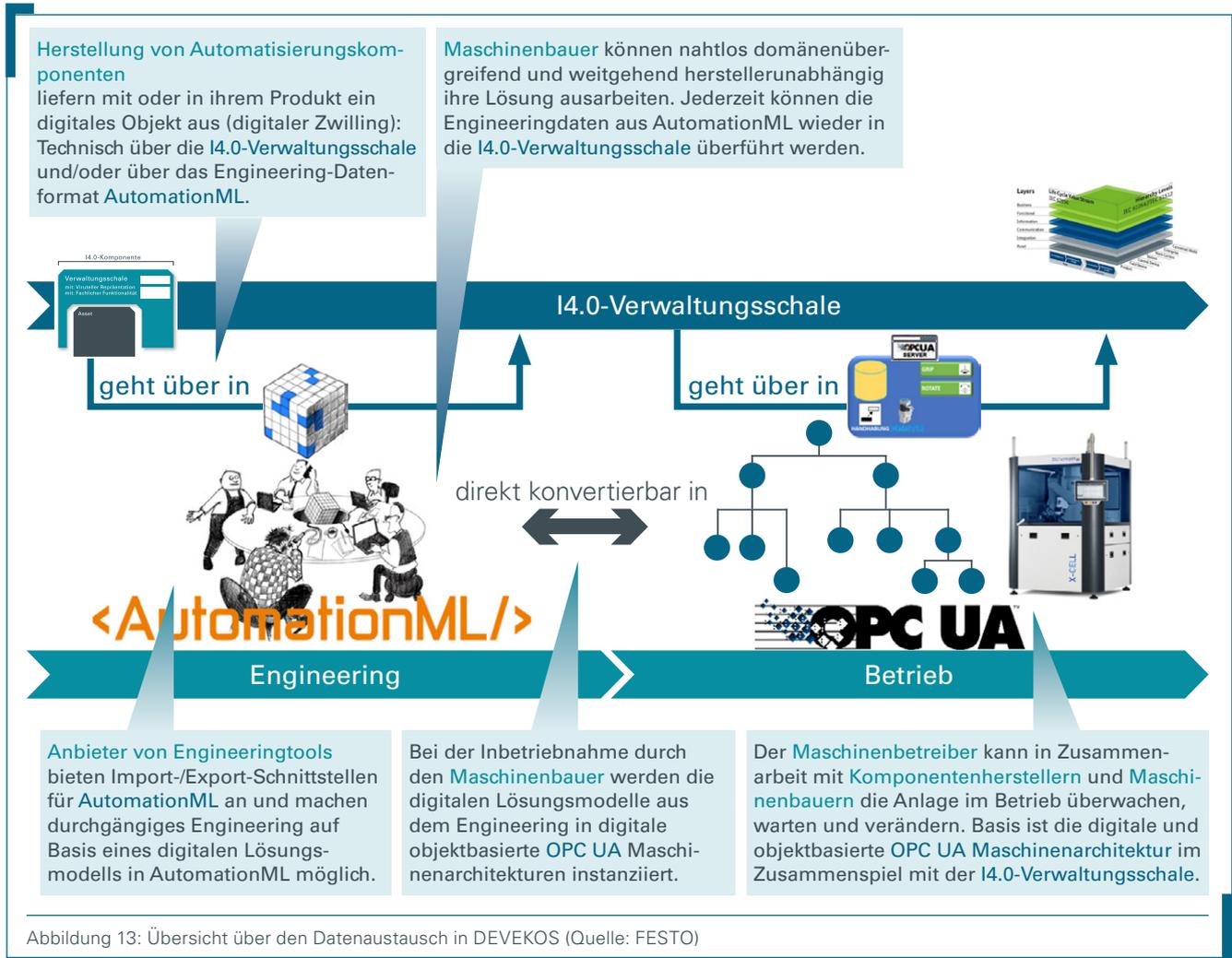
Das Projektziel von DEVEKOS ist die herstellerübergreifende Standardisierung von Fähigkeiten einzelner Komponenten und Subsysteme am Beispiel verschiedener Fertigungs- und Montageprozesse. Solche standardisierten Beschreibungen sind eine notwendige Voraussetzung für effizientes, fähigkeitenbasiertes Engineering ohne Bindung an einen einzelnen Hersteller. Mit dem CODESYS Depictor wird eine logische 3D-Simulation (virtuelle Inbetriebnahme) prototypisch realisiert. Für den Betrieb der Maschine entwickelt der Projektpartner inIT gemeinsam mit CODESYS einen ersten Prototyp für eine OPC UA-basierte Kommunikationslösung für fähigkeitenbasierte Systeme (siehe Abbildung 10).

Das Projektziel von DEVEKOS ist die herstellerübergreifende Standardisierung von Fähigkeiten einzelner Komponenten und Subsysteme am Beispiel verschiedener Fertigungs- und Montageprozesse. Solche standardisierten Beschreibungen sind eine notwendige Voraussetzung für effizientes, fähigkeitenbasiertes Engineering ohne Bindung an einen einzelnen Hersteller. Mit dem CODESYS Depictor wird eine logische 3D-Simulation (virtuelle Inbetriebnahme) prototypisch realisiert. Für den Betrieb der Maschine entwickelt der Projektpartner inIT gemeinsam mit CODESYS einen ersten Prototyp für eine OPC UA-basierte Kommunikationslösung für fähigkeitenbasierte Systeme (siehe Abbildung 10).



### 1.4.2 Anwendungsbeispiele und Implementierung der Industrie 4.0 Konzepte

Hersteller von Automatisierungskomponenten liefern mit oder in ihren Produkten ein digitales Objekt aus (Digitaler Zwilling): Technisch über die I4.0-Verwaltungsschale. Diese geht dann für das konkrete Engineering über in das Engineering-Datenformat AutomationML. Gegebenenfalls liefern die Hersteller auch schon direkt AutomationML-Files aus.



Die Maschinenbauer nutzen diese Modelle und binden Sie über Import-Schnittstellen der Engineeringtools in ihre Automatisierungslösung ein. Die entstandene Lösung wird dann wieder zusammen in das Lösungsmodell exportiert, sodass andere Engineeringdomänen mit ihren Tools nahtlos darauf zugreifen und weiterarbeiten können. Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme werden die im Lösungsmodell enthaltenen Objekte auf den unterschiedlichen Ebenen in der Maschine auf OPC UA-Servern, im Sinne einer objektbasierten OPC UA- Maschinenarchitektur, instanziiert. Diese Architektur dient im Betrieb der Maschinen als Basis für die Bereitstellung von Daten zur Realisierung von Mehrwertdiensten, zum Steuern der Maschinen und für Wartungsarbeiten.

### 1.4.3 Bewertung der Industrie 4.0-Konzepte und -Modelle

Es wird für die Zukunft wichtig sein, die I4.0-Verwaltungsschale zusammen mit Konzepten wie AutomationML oder OPC UA zu denken und in Zusammenhang zu setzen. Das wird helfen, die Gesamtsicht besser verständlich und die konkrete Anwendbarkeit für die Nutzenden sichtbar zu machen. Wichtig ist auch, die aktuell entstehenden OPC UA Companion Specifications in dieses Bild einzuordnen. Das gilt genauso für die aktuell entstehenden Standards zur Beschreibung von Automatisierungskomponenten in AutomationML.



Ein speziell entwickeltes Toolkit unterstützt die Planung und den Entwurf von komplexen Kommunikationsarchitekturen. Mittels der iRefA können insbesondere KMU die Kommunikationsnetzwerke und Technologien für ihre Automatisierungsprozesse und Anwendungen nach einem strukturierten Prozess bis hinunter zu den Lösungsbausteinen effizient planen.

Die IC4F iRefA soll Stakeholder wie Innovationsmanagerinnen und -manager sowie Systemarchitekten, die verantwortlich für die Definition, Bewertung, Konfiguration und Dimensionierung von Geschäfts-, Informationssystemen und Technologiearchitekturen sind, bei der Umsetzung von Industrie 4.0 Anwendungsfällen unterstützen.

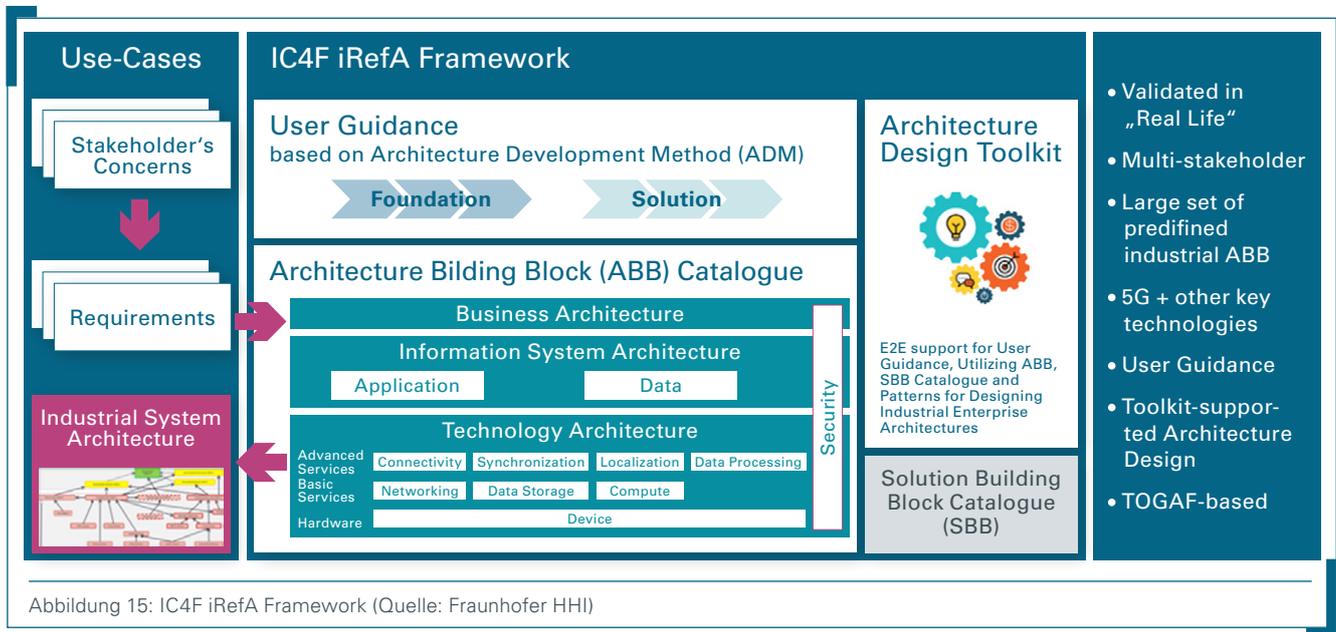


Abbildung 15: IC4F iRefA Framework (Quelle: Fraunhofer HHI)

### 1.5.2 Anwendungsbeispiele und Implementierung der Industrie 4.0 Konzepte

#### Anwendung der Verwaltungsschale

Die Torsteuerung ist einer von mehreren Aspekten, die in einer Fabrikhalle im Demonstrator Use Case Truck-to-X Communication realisiert wird. In diesem Anwendungsfall werden Gabelstapler in eine Kommunikationsumgebung eingebunden. Eine Indoor-Lokalisierung liefert dabei die Positionsdaten der Gabelstapler, welche von verschiedenen Anwendungen der im Demonstrator beteiligten Partner weiterverarbeitet werden.

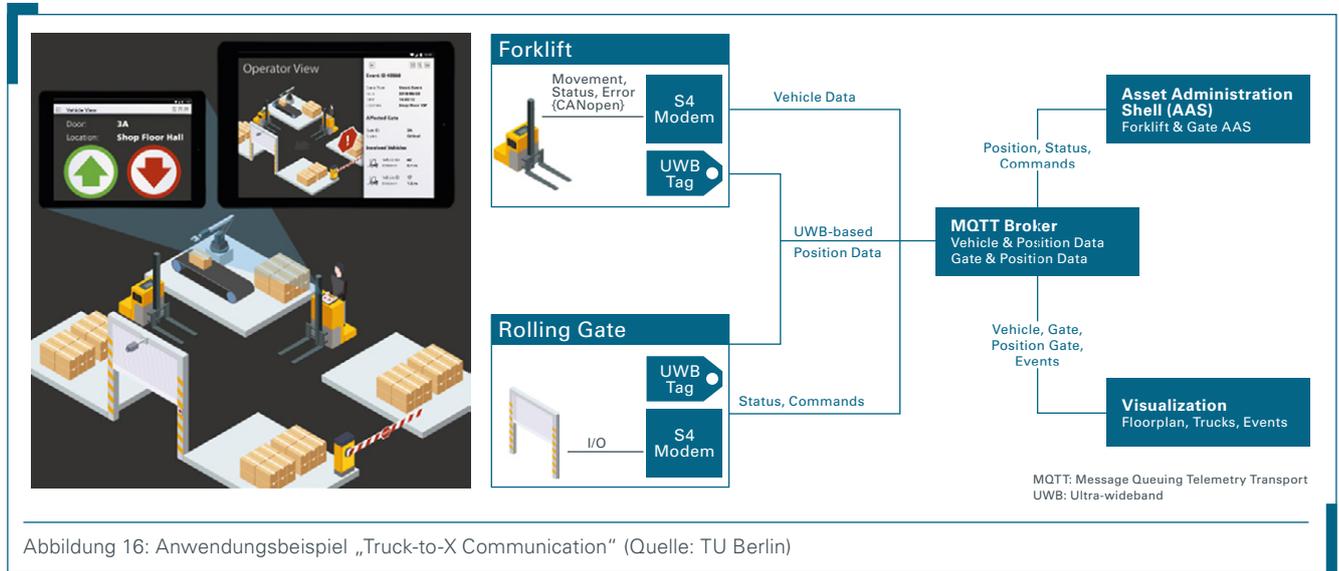


Abbildung 16: Anwendungsbeispiel „Truck-to-X Communication“ (Quelle: TU Berlin)

Im Falle der Torsteuerung werden die Positionsdaten der Gabelstapler und des Tores genutzt, um unter Berücksichtigung der Positionsdaten eine automatische Steuerung des Tores umzusetzen. Zum Beispiel soll somit ermöglicht werden, dass sich das Tor automatisch öffnet, wenn sich ein Gabelstapler dem Tor nähert. Die Umsetzung dieser Torsteuerung wird als Verwaltungsschale implementiert, vom Gabelstapler und Tor werden Digitale Willinge erzeugt. In den Teilmodellen der Verwaltungsschalen werden Eigenschaften dieser Assets, wie Breite, Höhe oder Position gespeichert. Die Positionsdaten der Indoor-Lokalisierung, über einen MQTT-Broker zur Verfügung gestellt, werden in der Verwaltungsschale des Staplers fortlaufend aktualisiert.

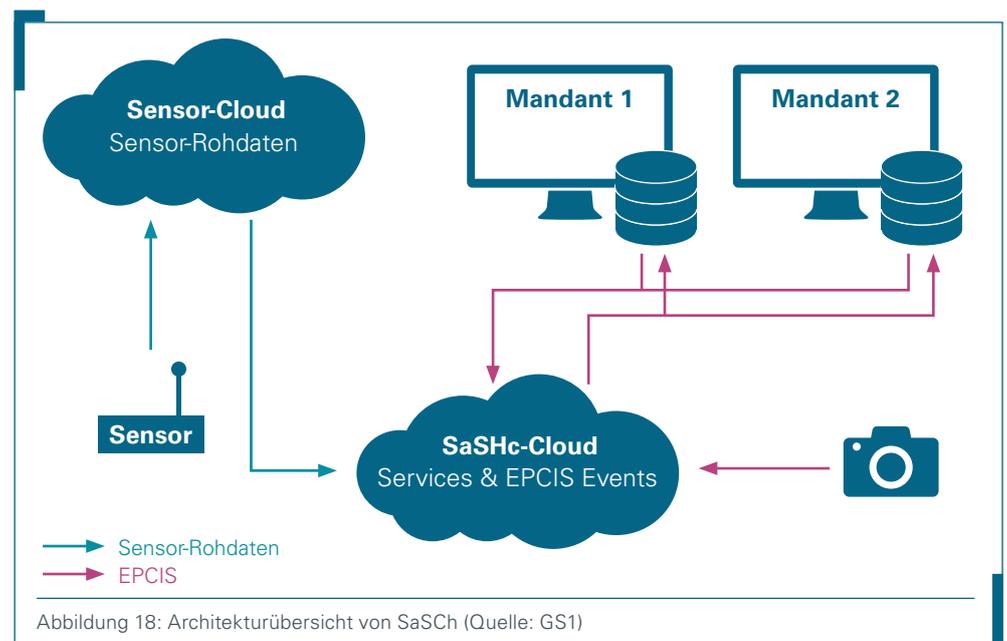
Bei Bedarf können die Verwaltungsschalen von Gabelstapler und Tor Daten untereinander austauschen. So kann zum Beispiel zunächst anhand der Eigenschaften der Digitalen Zwillinge überprüft werden, ob das Tor groß genug ist, so dass der Gabelstapler mit seinen Abmessungen problemlos durch das Tor fahren kann. OneM2M wird als Kommunikationsschnittstelle zwischen den Verwaltungsschalen und JSON als Datenaustauschformat verwendet. Das Informationsmodell der Torsteuerung verwendet bisher keine der genannten Standards. Eine Berücksichtigung möglicher Standards wird noch in Betracht gezogen.



## 1.6.2 Anwendungsbeispiele und Implementierung der Industrie 4.0 Konzepte

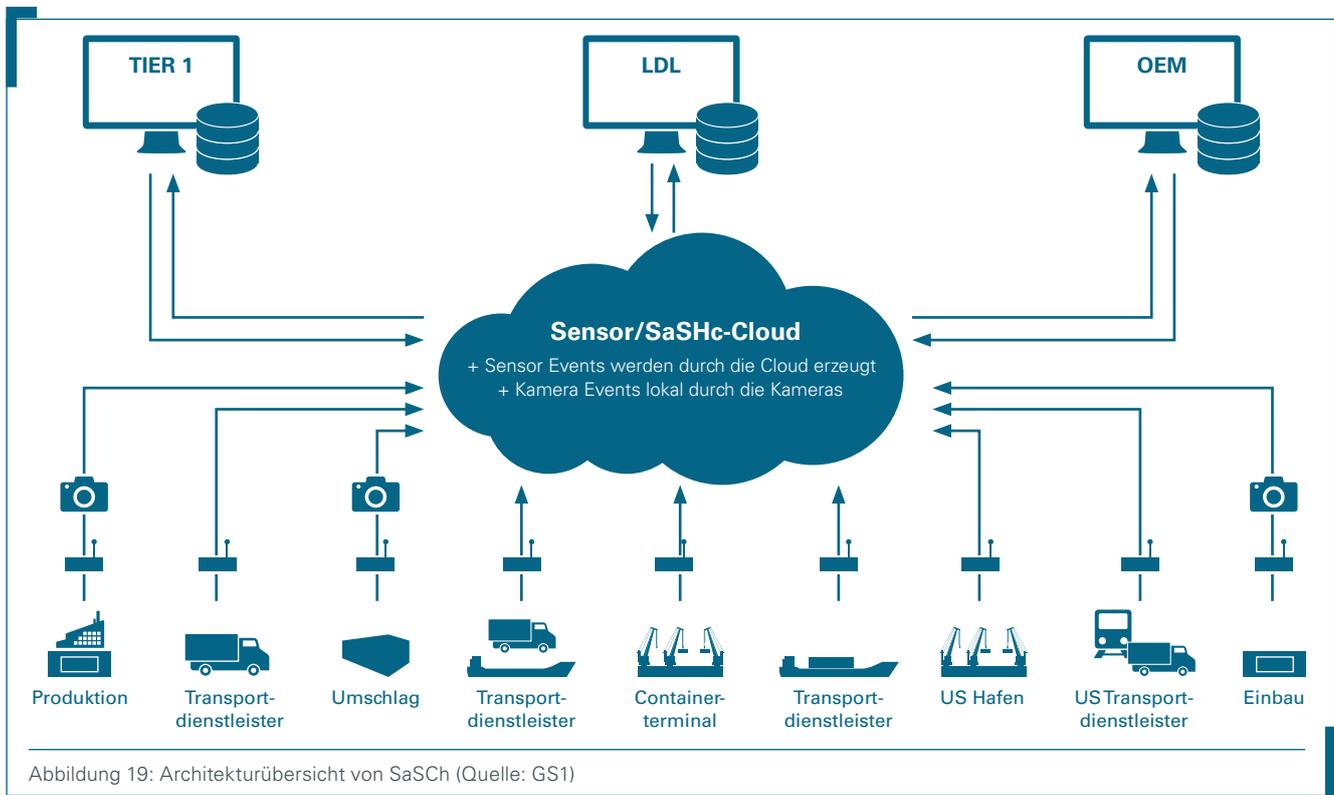
### Anwendung der Verwaltungsschale

Die Plattform Industrie 4.0 definiert die Verwaltungsschale als Interface zwischen einem realen Asset und seinem digitalen Zwilling in der digitalen Welt. In dieser Funktion soll die Verwaltungsschale die Gegenstände in die Industrie 4.0 Kommunikation einbinden und die einzelnen Assets im Netz adressierbar machen. Darüber hinaus soll die Verwaltungsschale den kontrollierbaren Zugriff auf alle Informationen des Gegenstandes erlauben und es ermöglichen, den gesamten Lebenszyklus von Produkten, Geräten, Maschinen und Anlagen abzubilden. So kann die Verwaltungsschale neben den intelligenten Assets (Assets mit ihrer Verwaltungsschale) auch nicht-intelligente („passive“) Assets (ohne Kommunikationsschnittstelle), z. B. über Bar- oder QR-Codes einbinden. Grundlegende Voraussetzung dafür ist, dass die Assets eindeutig und überschneidungsfrei identifiziert werden.



### GS1-Standards in der Verwaltungsschale

Zur Verfolgung und Beobachtung der Produkte in Echtzeit ist eine intelligente Verknüpfung zwischen Materialnummern, Sensor-Identifikation sowie Positions- und Qualitätsdaten im Forschungsprojekt SaSch nötig. Nur so können die vom Sensor bereitgestellten Daten sowie weitere Kontextinformationen zum Produkt, der Transportrelation und der Route entlang der ganzen Lieferkette fehlerfrei und zeitnah durchgereicht werden. Hier greifen GS1-Standards für die eindeutige Identifikation der Produkte und der Ladungsträger sowie für den schnittstellenübergreifenden Austausch der Informationen und Daten.



Eingesetzt werden die GS1-Identifikationsstandards (GS1-Keys), um Produkte (GTIN – Global Trade Item Number), Paletten (SSCC/NVE: Serial Shipping Container Code), Kleinladungsträger (KLT), (GRAI: Global Returnable Asset Identifier) oder Assets wie z. B. Sensoren (GIAI: Global Individual Asset Identifier) zu erfassen. Erst durch die eindeutige Identifikation der Sensoren und der Versandeinheit (Ware) kann eine Verknüpfung zwischen der realen und der virtuellen Welt, dem digitalen Zwilling, erfolgen. Dabei ist die effizienteste Möglichkeit, Einheiten entlang der Lieferkette zu identifizieren und zu verfolgen, die Kennzeichnung mit einem Datenträger, der automatisch erfasst werden kann, wie zum Beispiel ein Barcode oder ein RFID-Transponder. Mit Lesegeräten können die Inhalte automatisiert erfasst, gespeichert und weiterverarbeitet werden. Ein wesentlicher Vorteil der GS1-Keys ist ihre Unabhängigkeit von Datenträgern. Je nach Anwendungsfall werden die GS1-Keys in verschiedenen Barcodes – z. B. GS1-128 oder GS1 DataMatrix – oder im EPC/RFID-Transponder verschlüsselt. Der in SaSCh eingesetzte Sensor trägt zur automatischen Identifikation einen GS1 DataMatrix und einen EPC/RFID Transponder. Da beide Datenträger ein und dieselbe Information enthalten, entscheidet der Anwendungsfall welcher ausgelesen wird.

Zur transparenten End-to-end-Überwachung und Sicherstellung der Qualität eines Bauteils müssen Sensor- und Qualitätsdaten bereits bei der Produktion erhoben werden. Während des Transports erfassen sowohl an den Ladungsträgern als auch am LKW oder Container angebrachte Sensoren neben der Position qualitätsrelevante Faktoren wie Temperatur, Erschütterung oder Luftfeuchtigkeit.

Um eine durchgängige Erfassung qualitäts- und zustandsrelevanter Daten zu ermöglichen, sollten die Sensor- und Qualitätsdaten allen Beteiligten entlang der horizontalen und vertikalen Wertschöpfungskette in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden. Ohne eine Standardisierung können insbesondere die erzeugten Qualitäts- und Sensordaten sowohl innerbetrieblich als auch unternehmensübergreifend nicht allen berechtigten Akteuren in den Produktions- und Logistikprozessen zur Verfügung gestellt werden.

Um die notwendige hohe Transparenz bzgl. der Prozesse, Bestände, Daten und Qualität zu erreichen, sind in den meisten Fällen vier Informationen notwendig:

- WAS (um welche Objekte handelt es sich?)
- WANN (zu welche Zeit bzw. welchem Zeitraum?)
- WO (an welchem Ort bzw. welchen Orten?)
- WARUM (Spezifikation durch Geschäftskontexte, Zustände, Qualitätsdaten etc.)

Diese vier Informationsdimensionen belegen in einem Prozess ein dokumentenwürdiges Geschäftsereignis. Dieses Geschäftsereignis wird als „EPCIS-Event“ (EPC Information Services) verstanden. Dabei können diese Events am Anfang, am Ende oder an vielen weiteren Punkten entlang der Wertschöpfungskette erfolgen und Informationen über Aufenthaltsort, Geschäftsprozess und Zustand (Qualitätsdaten) eines Produktes geben.

Die Daten zu den EPCIS-Events werden in sogenannten EPCIS-Repositorys gespeichert. Über standardisierte Schnittstellen können die Daten sowohl erfasst als auch nach unterschiedlichen Parametern abgefragt werden. Somit lassen sich Ereignisse auf sehr einfache Weise nach Lokationen, Produkten, Unternehmen, Zeiträumen, Status, Warenmengen oder EDI-Transaktionen filtern.

Durch die GS1-Standards können die Ziele des SaSCh-Projektes und die gestellten Anforderungen und Merkmale an eine Verwaltungsschale erfolgreich um- und eingesetzt werden. Durch das Projekt wurde die technische Voraussetzung für einen unternehmensübergreifenden Austausch von Sensor- und Qualitätsdaten der transportierten Güter geschaffen. Die Daten werden in digitalen Services mit Tracking- und Tracing-Informationen kombiniert und stehen den Partnern der Supply Chain zur weiteren Verarbeitung sowie Analyse zur Verfügung.

# 2 Handlungsempfehlungen

Die Workshop-Teilnehmenden diskutierten abschließend eine Reihe von offenen Fragestellungen und Herausforderungen auf dem Weg zu interoperablen Informationsmodellen in Industrie 4.0.

**Parallele Entwicklungen vermeiden und Arbeiten an der Spezifikation der Verwaltungsschale koordinieren:** Diese Herausforderungen betreffen primär die Organisation der parallel laufenden Entwicklungen, die im Rahmen der zahlreichen Arbeitskreise und -gruppen in den relevanten Branchenverbänden wie z. B. ZVEI SG2 und den Fachausschüssen im VDI: GMA FA 7.21 „Cyber Physical Systems“ und 7.20 „Industrie 4.0“, stattfinden. Die Verwaltungsschale („Asset Administration Shell“) ist mittlerweile auch in der IEC TC 65 WG 24 verankert. Diese Aktivität wird auf nationaler Ebene in der DKE/K 931.014 gespiegelt.

Der generische Ansatz der Verwaltungsschale integriert verschiedene Teilmodelle, die die domänenspezifischen Beschreibungen von Komponenten oder auch ihre Zusammensetzungen beinhalten. Die domänenspezifischen Teilmodelle sollten in den jeweiligen Fach-Communities entwickelt werden. Die anwendungsspezifischen Use Cases sollten diese Entwicklungen vorantreiben. Dabei sollte kein Anspruch auf Vollständigkeit verfolgt werden, sondern iterativ die existierenden Lösungen, insbesondere OPC UA und AutomationML, ergänzt und erweitert werden.

Die Entwicklung der Teilmodelle erfordert eine möglichst aktive und breite Beteiligung der Fachcommunity. Dabei sind das Feedback und die Änderungswünsche der Anwender von zentraler Bedeutung. Die Beteiligung an der Entwicklung sollte möglichst vielen Akteuren aus der Industrie und Forschung ermöglicht werden, um das innovative Potential auszuschöpfen.

Es wird eine Modularisierung der Anwendungsfälle empfohlen. Dabei sollten auch Inkompatibilitäten zwischen verschiedenen Teilmodellen zulässig sein. Der Entwicklungsprozess sollte Raum für Experimente vorsehen und Überlagerungen zulassen, um neue Wege beschreiten zu können.

**Transparenz und Konsistenz der OPC UA Companion Specifications sicherstellen:** Die OPC Foundation bietet ihren Mitgliedern die Möglichkeit, Companion Specifications für die Komponentenbeschreibungen zu erstellen. Die Prozesse für die Erstellung solcher Spezifikationen sind klar und transparent organisiert, doch ist durch einen starken Anstieg der Anzahl laufender und bereits abgeschlossener Spezifikationen eine hohe Intransparenz und Inkonsistenz zwischen den einzelnen Dokumenten entstanden. Es existieren bereits zahlreiche Companion Specifications, die einige bestimmte Teilbereiche (z. B. Vision, Robotik) abdecken. Tendenziell versuchen inzwischen viele Hersteller eigene Companion Specification für ihre Domänen zu entwerfen und zu veröffentlichen.

Der VDMA bemüht sich bereits um die Vereinheitlichung der Companion Specifications, um die Anzahl der Spezifikationen und Schnittstellen zu minimieren und damit eine höhere Interoperabilität zwischen den Lösungen verschiedener Hersteller zu schaffen. Diese Aktivitäten sollten fortgesetzt und ausgebaut werden.

**Kostenbarrieren abbauen:** Hohe Lizenzgebühren für Standards, etwa für den Gebrauch von e@Class, und der kostenpflichtige Zugang zu ISO- und IEC-Normen, stellen für kleinere Unternehmen (Start-ups) und forschende Einrichtungen (Universitäten) eine ernst zu nehmende Barriere dar.

Standards und Spezifikationen müssen offen und frei zugänglich für Forschungseinrichtungen und Start-ups gemacht werden, um neue Innovationen zu fördern und neue Lösungsansätze schneller auf den Markt zu bringen.

**Anwendungsbeispiele für die Informationsmodelle und Datenaustauschformate aufzeigen:** Für kleine und mittelständische Unternehmen sind erprobte Lösungen und Anwendungsbeispiele wichtig, die ihnen eine Orientierung über relevante Standards und Austauschformate bieten.

Es sollte eine zentrale Stelle, z. B. verwaltet von der Plattform Industrie 4.0, mit einer Suchfunktion für geeignete Anwendungsbeispiele geschaffen werden, um die Akzeptanz und die Verbreitung der erarbeiteten Datenaustauschformate und Informationsmodelle zu steigern.

**Interoperabilität zwischen Robotik-Frameworks herstellen:** Gerade für Anwendungen der Service-Robotik gibt es eine Reihe von Frameworks mit unterschiedlichen, teilweise überlappenden Ansätzen für die Software- und Kommunikationsarchitekturen. Dazu gehören u. a. OPC UA, ROS und SmartSoft. Bislang ist die direkte Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Frameworks nicht möglich. Benötigt wird entweder die Kompatibilität der Schnittstellen oder eine ausreichend genaue und interoperable Modellierung, die den Austausch von Daten oder Mustern entweder automatisch oder mit Hilfe von Werkzeugen unterstützt. Die Vergleichbarkeit und Maschinenlesbarkeit der Roboterkomponenten lässt sich bspw. durch eine einheitliche Vorgabe der Struktur in AutomationML sicherstellen. So können die Servicerobotik-Lösungen kostengünstiger entwickelt werden und auf dem Markt Verbreitung finden.

**Formale Beschreibungen für Produkte und Komponenten ausbauen:** Sollen während des Engineering-Prozesses Komponenten von Dritten in das eigene Produkt integriert werden, ist für einen durchgängig digitalen Prozess eine einheitliche und eindeutige Beschreibung der Komponenten und ihrer Funktionen erforderlich. Das ist eine zentrale Voraussetzung, um auf B2B-Plattformen für das Engineering hochwertige Dienste und neue Geschäftsmodelle anzubieten. Die Spezifikation „Verwaltungsschale im Detail“ bietet dafür eine angemessene Struktur, definiert aber keine Inhalte. Bestehende Klassifikationen wie eCI@ss reichen für eine Beschreibung der für das Engineering notwendigen Daten nicht aus. Für die Beschreibung von Produkten und Komponenten ist daher eine einheitliche, strukturierte und formal definierte Beschreibungssprache notwendig, die auf der Verwaltungsschale aufsetzt und möglichst vorhandene Klassifikationssysteme wie eCI@ss integriert. Die Erfahrungen aus den PAiCE-Projekten zeigen, dass dadurch die Qualität und Effizienz von Entwurfsprozessen massiv befördert werden konnten. Softwarehersteller und Endanwender sollten eine gemeinsame Schnittstellenstandardisierung mit AutomationML vorantreiben, um diese Potentiale auch in der Breite zu erschließen. Eine internationale Normung über die ISO wird empfohlen.

# Anhang

## Die Referenzarchitektur RAMI 4.0 und zentrale Standards für Industrie 4.0

Standardisierung und Normung sind wichtige Voraussetzung von Industrie 4.0. Zu den zentralen Standards, auf die beim Workshop häufig Bezug genommen worden war, gehören das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0), die Verwaltungsschale in RAMI 4.0, OPC UA und AutomationML.<sup>1</sup>

### RAMI 4.0 – Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0

Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) beschreibt ein Referenzmodell für die Architektur von technischen Gegenständen (Assets), die in einem Unternehmen im Rahmen der Fertigung Verwendung finden. Die einheitliche virtuelle Repräsentation der Assets stellt den verschiedenen Akteuren wie Entwicklern, Herstellern, Zulieferern und Anwendenden eine gemeinsame Begriffswelt und Ordnungsstruktur für die teilweise sehr unterschiedlichen technischen Systeme und Prozesse in Industrie 4.0 bereit. Existierende Normen und Standards lassen sich in dem System ebenfalls verorten. Die drei Dimensionen des Modells beschreiben für die Assets

- die verschiedenen Ebenen (layer) ihrer digitalen Abbildung: von der Ebene der physikalischen Geräte bis hin zur Ebene der Geschäftsmodelle,
- ihre Einordnung in die funktionale Hierarchie einer Produktionsanlage bzw. eines Unternehmens (hierarchy levels) und
- ihre Einordnung in ein einfaches Lebenszyklusmodell aus Entwicklung (type) und Produktion (instance) eines Assets.

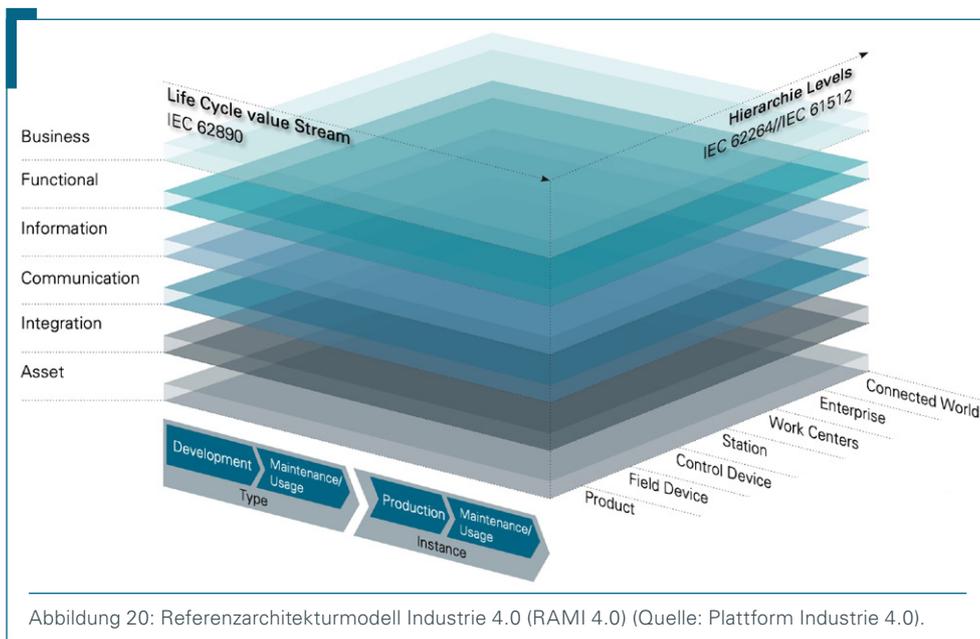


Abbildung 20: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) (Quelle: Plattform Industrie 4.0).

<sup>1</sup> Eine ausführlichere Einführung findet sich in: Jörg Megow: Referenzarchitekturmodelle für Industrie 4.0, Smart Manufacturing und IoT. it: Berlin 2020.

## Verwaltungsschale in RAMI 4.0

Die „Verwaltungsschale“ in RAMI 4.0 ist das virtuelle Abbild eines Assets und beschreibt dessen charakteristische Merkmale. Dadurch werden die Funktionalitäten des Assets für die Informationswelt nutzbar gemacht und die Kommunikation in Industrie 4.0 ermöglicht. Das virtuelle Abbild – dargestellt durch die Verwaltungsschale – und das Asset der physischen Welt bilden gemeinsam eine Industrie 4.0-Komponente.



## Semantik: eCl@ss

Von zentraler Bedeutung für Industrie 4.0 ist der Informationsaustausch zwischen den Assets. Dafür bedarf es einer eindeutigen Semantik. Im Einsatz heute weit verbreitet ist der Standard eCl@ss zur eindeutigen Klassifikation und zur Beschreibung der Eigenschaften von Produkten und Dienstleistungen. Das von eCl@ss verwendete Strukturmodell zur Beschreibung und Verwaltung von Klassen, Merkmalen und Einheiten basiert auf der internationalen Norm ISO 13584-42/IEC 61360. Die eindeutige semantische Beschreibung macht eine direkte Kommunikation zwischen den Assets auf Basis ihrer Verwaltungsschalen möglich. Die semantische Beschreibung kann in verschiedene Informationsmodelle (OPC UA oder AutomationML) eingebettet werden.

## Informationsmodelle

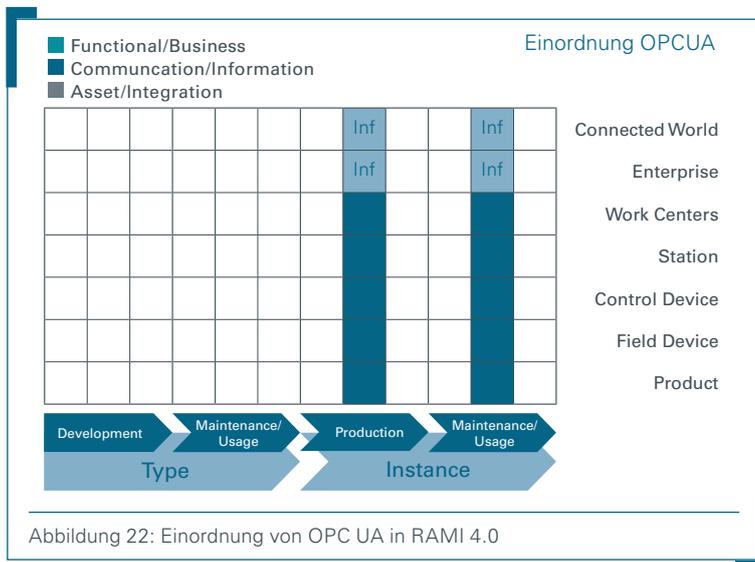
Über Klassifikationsmodelle wie eCl@ss hinaus sind für eine Interoperabilität in Industrie 4.0 auch allgemeine Informationsmodelle notwendig. Aktuell sind dafür vor allem OPC UA und AutomationML in der Diskussion:

### OPC UA

OPC UA (Open Platform Communication Unified Architecture) ist zunächst ein offener, plattformunabhängiger Schnittstellenstandard (IEC 62541), welcher die Anforderungen an ein Industrie 4.0-konformes Kommunikationsprotokoll erfüllt. OPC UA ist allerdings mehr als ein reines Kommunikationsprotokoll: Die Architektur umfasst auch Datenmodelle und Interaktionskonzepte und erlaubt die Erstellung von Geräte- und Fähigkeitsbeschreibungen in Form von Informationsmodellen. Diese Informationsmodelle werden oftmals branchenabhängig betrachtet, konkretisiert und durch sogenannten Companion Specifications standardisiert.

Beispielsweise strebt die OPC UA Companion Specification Robotik an, die Robotik Industrie 4.0-konform zu machen. Der erste Teil der Reihe, die VDMA Companion Specification 40010-1, liegt bereits als Entwurf vor (Stand: August 2019). In dem Dokument werden Basispezifikationen festgelegt und Informationsmodelle definiert. Die Themenfelder umspannen die Gebiete Zustandsdatenerfassung (Condition Management), Asset Management, vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance) und vertikale Integration. Weitere Anwendungsfälle, unter anderem hinsichtlich der Konfiguration und Steuerung eines Motion Device Systems, der Meldung von Zuständen, Alarmen und Ereignissen und der Speicherung von kundenspezifischen Informationen auf dem Server sollen in den folgenden Teilen der Reihe beschrieben werden.

OPC UA ist im Communication Layer auf allen Ebenen der Hierarchieachse von RAMI 4.0 zu verorten, da OPC UA die Kommunikation in kleinsten Sensoren (Product Ebene), aber auch fabrikübergreifend (Connected World Ebene) gewährleisten kann. Erweiterte Informationsmodelle und OPC UA Companion Specifications hingegen sind dem Information Layer zuzuordnen. In Zukunft wird OPC UA auch im Integration Layer von RAMI 4.0 integriert, da OPC UA sowohl zur Kommunikation zwischen Industrie 4.0-Komponenten als auch für die Anbindung von Assets an ihre Verwaltungsschalen dient.



### AutomationML

OPC UA bietet den Rahmen für die Beschreibung von Metamodellen, definiert aber nicht die konkreten Inhalte des Datenaustauschs. Das leistet das Datenformat AutomationML (Automation Markup Language, IEC 62714), welches den Datenaustausch während des Engineerings, etwa von CAD-Daten, spezifiziert. Das neutrale, XML-basierte Datenformat erlaubt die Integration interner und externer Untermodelle (ISA95, eCl@ss-Eigenschaften, RDF-Dokumente). Regeln, welche die Transformation von AutomationML ins OPC UA Informationsmodell beschreiben und somit die Synthese beider Standards ermöglichen, sind in der Companion Specification AutomationML for OPC UA dargestellt. Die DIN SPEC 16592 „Kombinieren von OPC UA und Automation Markup Language“ baut auf diesem Dokument auf und detailliert die Transformationsregeln. Mögliche Use Cases für die Kombination aus OPC UA und AutomationML werden beschrieben und es wird erläutert, wie weitere Standards integriert werden können.

Als Datenaustauschformat für das Engineering ordnet sich AutomationML in die Phase Type von RAMI 4.0 ein.

