

Softwarearchitekturen für Industrie 4.0

RAMI und IIRA aus Sicht der Projekte
im Technologieprogramm
AUTONOMIK für Industrie 4.0

Impressum

Herausgeber

Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0
VDI/VDE Institut für Innovation und Technik
Steinplatz 1 | 10623 Berlin
alfons.botthof@vdivde-it.de

www.autonomik40.de

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl
Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse
Michael Doering
Markus Funk
Frank Heinze
André Hengstebeck
Dr.-Ing. Lutz Jänicke
Romina Kettner
Thomas Kosch
Prof. Dr.-Ing. Bernd Kuhlenkötter
Prof. Dr. Jürgen Roßmann
Prof. Dr. Albrecht Schmidt
Gudrun Tschirner-Vinke
Miro Tunk
Dr.-Ing. Carsten Ullrich
Dr.-Ing. Inessa Seifert

Gestaltung

Loesch*Hund*Liepold
Kommunikation GmbH
Hauptstraße 28 | 10827 Berlin
autonomik@lhk.de

Stand

Juni 2016

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

Einleitung	5
Zusammenfassung	7
OPAK	7
CoCoS	8
MANUSERV	8
motionEAP	9
APPsist	9
InnoCyFer	10
GEMINI	10
Fazit	11
Eingeladene Beiträge	12
Referenzarchitekturmodelle – Grundlage zur Entwicklung von Industrie-4.0-Systemen	12
1. Einführung	12
2. Referenzmodelle	12
3. Referenzarchitekturmodelle	12
Sicherheit für AUTONOMIK	14
1. Sicherheitsanforderungen an autonome Systemen	14
2. Beispielhafte Aspekte von Schutzmaßnahmen	15
3. Systemische Betrachtung mit RAMI 4.0	16
Beiträge der AUTONOMIK-Projekte	17
Offene Engineeringplattform für autonome, mechatronische Automatisierungskomponenten in funktionsorientierter Architektur	17
1. Einleitung	17
2. OPAK und RAMI 4.0	18
3. Zusammenfassung	19
Einordnung von CoCoS in das Referenzarchitekturmodell RAMI 4.0 und in die Industrial Internet Referenzarchitektur IIRA	20
1. Einleitung	20
2. Einordnung von CoCoS in das Referenzarchitekturmodell RAMI 4.0	20
3. Einordnung der CoCoS-Konzepte zur resilienten industriellen Kommunikation in die Industrial Internet Reference Architecture (IIRA 1.7)	21
4. Fazit	23

Einsatz und Nutzen von Referenzarchitekturmodellen für die Softwarearchitektur von MANUSERV	24
Abstract	24
1. Einleitung	24
2. Zielsetzung des Projektes MANUSERV	24
3. Systemstruktur von MANUSERV	25
4. Einordnung von MANUSERV in RAMI 4.0	26
5. Einordnung von MANUSERV in IIRA	27
6. Erfahrungen und Zusammenfassung	28
Assembly Instructions as a Service (AlaaS) als Komponente der RAMI 4.0 Referenzarchitektur.	30
1. Einleitung	30
2. Einordnung von AlaaS in die RAMI 4.0 Referenzarchitektur	31
3. Verwertung und Nutzen von Referenzarchitekturmodellen	31
4. Resilienz und „Security-by-Design“	32
5. Perspektiven und langfristige Chancen für Referenzarchitekturmodelle	33
Verortung von Assistenz- und Wissensdiensten im Industrie 4.0 Referenzmodell RAMI 4.0	34
Zusammenfassung	34
1. Einführung	34
2. Beschreibung der Pilotszenarien	34
3. Verortung in RAMI 4.0	35
4. Assistenz- und Wissensdienste im Allgemeinen	36
5. „Resilienz“ und „Security-by-Design“	37
6. Empfehlungen an die Plattform Industrie 4.0.	37
Einordnung von InnoCyFer in die RAMI 4.0 Referenzarchitektur	38
1. Motivation und Zielsetzung des Projektes	38
2. Einordnung in die RAMI 4.0 Referenzarchitektur	39
3. Fazit der Einordnung in RAMI 4.0	40
Beitrag zum Projekt GEMINI	41
1. Einleitung	41
2. GEMINI – Geschäftsmodelle für Industrie 4.0.	41
3. Industrial Internet Reference Architecture	43
4. Anknüpfungspunkte zwischen Industrial Internet Reference Architecture und GEMINI.	44
5. Fazit	45
Literaturverzeichnis	46
Abbildungsverzeichnis	49
Autoren-Kontakte	50

Einleitung

Im April 2015 hat der ZVEI gemeinsam mit der VDI/VDE-GMA, der DKE und den Partnern in der Verbändeplattform Industrie 4.0 Bitkom und VDMA, die erste Version einer deutschen Referenzarchitektur für Industrie 4.0 (RAMI 4.0) vorgestellt.¹ Fast zeitgleich wurde im Juni 2015 die internationale Industrial Internet Reference Architecture (IIRA 1.7) vom Industrial Internet Consortium (IIC) veröffentlicht. Beide Referenzarchitekturen haben sich zum Ziel gesetzt, einen einheitlichen Rahmen mit einem wohldefinierten Vokabular für die zukünftigen Informations- und Kommunikationstechnologien sowie Automatisierungs- und Produktionstechnologien zu definieren, um die Entwicklung von neuen Geschäftsmodellen und innovativen Lösungen zu beschleunigen.

Nach der Veröffentlichung der beiden Referenzarchitekturen entstand in der Fach-Community eine weiterhin andauernde Diskussion, inwieweit sich RAMI und IIRA zur Strukturierung der Technologielandschaft eignen und ob sie eine ausreichend gute Orientierung für die Entwicklung von künftigen Industrie-4.0-Technologien und -Systemen bieten. Von besonderem Interesse ist dabei ein direkter Vergleich der beiden Modelle.

Die Begleitforschung des Technologieprogramms „AUTONOMIK für Industrie 4.0“ und das AUTONOMIK-Projekt CoCoS haben daher am 04. Februar 2016 in Berlin den Workshop „Serviceorientierte Architekturen für Industrie 4.0“ veranstaltet, in dem RAMI und IIRA aus Sicht der Projekte im Programm eingeschätzt werden sollten.

Zum Workshop waren zwei externe Experten für Impulsvorträge eingeladen: Prof. Dr.-Ing. Reiner Anderl (TU Darmstadt, wissenschaftlicher Beirat der Plattform Industrie 4.0) mit dem Vortrag „Referenzarchitekturmodelle - Grundlage zur Entwicklung von Industrie-4.0-Systemen“

¹ Bitkom: Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien; DKE: Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE; VDI/VDE-GMA: VDI/VDE-GMA: VDI/VDE Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik; VDMA: Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau; ZVEI: Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie.

und Dr. Lutz Jänicke (PHOENIX CONTACT Cyber Security AG, AG 3 „Sicherheit vernetzter Systeme“ in der Plattform Industrie 4.0) mit dem Vortrag „Sicherheit für AUTONOMIK“.

Im Mittelpunkt des Workshops stand die Einordnung der Softwarearchitekturen in den AUTONOMIK-Projekten in RAMI 4.0 bzw. IIRA 1.7 sowie die Bewertung der beiden Referenzarchitekturen hinsichtlich ihrer Anwendungsmöglichkeiten in den konkreten Entwicklungsarbeiten. Beiträge kamen von sieben Projekten aus dem Technologieprogramm: OPAK, CoCoS, MANUSERV, MotionEAP, APPSIST, InnoCyFer und GEMINI. Diese Projekte decken mit ihren inhaltlichen Schwerpunkten die verschiedenen Ebenen („layer“) der RAMI gut ab (siehe Abb. 1).

Die Projekte wurden gebeten, wenn möglich, auf folgende Fragestellungen einzugehen:

- Wie werden die Referenzarchitekturmodelle im jeweiligen Projekt eingesetzt (z. B. als Kommunikationswerkzeug, als Ordnungsstruktur, als Hilfestellung für die Umsetzung von spezifischen Systemeigenschaften)?
- Wie lassen sich die im Projekt entwickelten Architekturen auf RAMI 4.0 bzw. auf IIRA abbilden?
- Bieten die Referenzarchitekturen eine Hilfestellung in Bezug auf den Einsatz von spezifischen Technologien und Standards im Projekt?
- Inwieweit geben die Referenzarchitekturen eine ausreichende Hilfestellung, um die Konzepte „Resilienz“ und „Security-by-Design“ in den Projekten angemessen umzusetzen?
- Wurden Lücken in den Architekturmodellen identifiziert, gibt es eventuell sogar schon Verbesserungsvorschläge aufgrund der gewonnenen Erfahrungen in den Projekten?
- Wie können RAMI 4.0 und IIRA weiterentwickelt werden?

Im Anschluss an den Workshop haben alle Referenten ihre Vorträge freundlicherweise in eine schriftliche Form

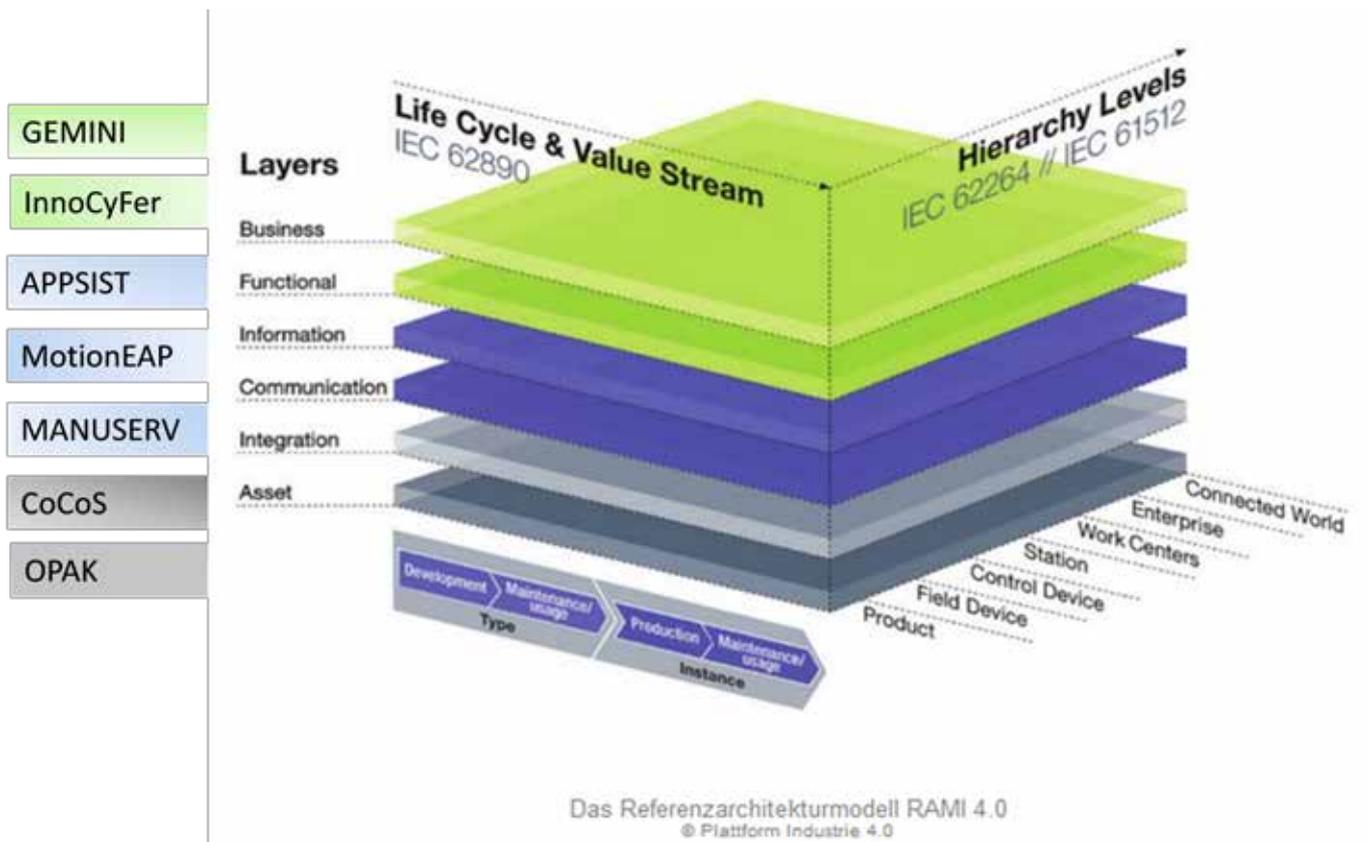


Abb. 1: Verortung der AUTONOMIK-Projekte in RAMI

gebracht. Die vorliegende Workshop-Dokumentation „Softwarearchitekturen in AUTONOMIK 4.0“ enthält die Impulsvorträge der eingeladenen Experten, die Beiträge der Projekte sowie eine Zusammenfassung der Positionspapiere mit den zentralen Erkenntnissen der beteiligten Projekte. Die Workshop-Teilnehmer haben damit eine erste kritische und praxisnahe Würdigung der beiden Referenzarchitekturen RAMI und IIRA geleistet.

Die Begleitforschung bedankt sich bei allen Referenten für ihre Vorträge und ihre schriftlichen Beiträge. Ein herzlicher Dank geht auch an Michael Döring, Koordinator des Projekts CoCoS, für die gemeinsame fachliche Vorbereitung des Workshops.

Zusammenfassung

Inessa Seifert, Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0

Die überwiegende Mehrheit der AUTONOMIK-Projekte – OPAK, CoCoS, MANUSERV, MotionEAP, APPsist und InnoCyFer – haben RAMI 4.0 als Referenz zur Einordnung ihrer projektspezifischen Softwarearchitekturen gewählt.

Die Projekte CoCoS und MANUSERV haben sich sowohl gegenüber RAMI 4.0 als auch IIRA 1.7 positioniert. Das Projekt GEMINI nahm ausschließlich Bezug zum Business Viewpoint von IIRA 1.7.

Die Projekte kommen dabei zu folgenden Empfehlungen und Erkenntnissen:

OPAK

Offene Engineeringplattform für autonome, mechatronische Automatisierungskomponenten in funktionsorientierter Architektur

Projektschwerpunkte: Zunehmend werden einzelne mechatronische Komponenten in der Produktion mit immer mehr Sensorik und Motorik ausgestattet und erhalten dadurch eine eigene Intelligenz, müssen aber über eine zentrale Steuerung mit anderen Komponenten kommunizieren. In OPAK wird eine architekturgestützte und funktionsorientierte Engineeringmethodik entwickelt, die eine nahtlose Integration der Steuerungsarchitektur, der funktionalen Architektur und der mechatronischen Architektur beim Design und der Entwicklung von Produktionsanlagen ermöglicht.

www.opak-projekt.de

Die OPAK-Architektur ließ sich problemlos in RAMI 4.0, insbesondere hinsichtlich Life Cycle & Value Stream, in die Bereiche „Development“ und „Maintenance/Usage“ einordnen.

RAMI 4.0 soll für die praktische Anwendung in Tools für Engineering und im Betrieb der Produktionsanlagen für spezifische Domänen konkretisiert werden. Zielführend wären daher domänenspezifische Ausprägungen von RAMI 4.0.

Die Hierarchieebenen in RAMI sind sehr stark an die klassische Automatisierungspyramide angelehnt. Anpassungen sind notwendig, um zukünftige, stärker verteilte und weniger hierarchische, Systeme in RAMI abbilden zu können.

Das OPAK-Konsortium begrüßt ausdrücklich die Standardisierungsbemühungen der Plattform Industrie 4.0 für Architektur und die Beschreibung der Automatisierungskomponenten.

CoCoS

Context-Aware Connectivity and Service Infrastructure for Cyber-Physical Production Systems

Im Projekt CoCoS wird eine Informations- und Kommunikationsplattform entwickelt, die Maschinen, Transportmittel und Werkstücke in einer Produktionslinie vereint. Durch die durchgängige Vernetzung der CPPS-Komponenten sowie die Vereinheitlichung der Kommunikationstechnologien werden nun alle produktionstechnischen Prozesse mit den betriebswirtschaftlichen Prozessen verzahnt und lassen sich dadurch flexibel steuern und verändern.

CoCoS realisiert keine hierarchische, sondern eine kooperative Netzwerkarchitektur, die es ermöglicht, die Ressourcen durch neuartige Self-X-Fähigkeiten (Selbstheilung, Selbstkonfiguration, Anomaliedetektion und Virtualisierung) optimal zu nutzen.

www.cocos-project.de

RAMI 4.0 eignet sich gut für die Strukturierung der Themen und Kommunikationseigenschaften, die in CoCoS adressiert werden.

RAMI 4.0 ist mit seinem Ebenenmodell gegenüber IIRA in der Darstellung sehr viel kompakter. IIRA definiert dagegen verschiedene Viewpoints mit unterschiedlichen Detaillierungstiefen.

Für die CoCoS-Kommunikationsplattform hat IIRA 1.7 eine höhere Relevanz, insbesondere weil die „Key System Concerns“ der IIRA wie Safety, Security und Connectivity die Schwerpunkte in CoCoS direkt widerspiegeln.

Der Detaillierungsgrad der Beschreibung der „Key System Concerns“ sollte in IIRA allerdings vereinheitlicht werden. Die Beschreibung und Anforderungen an Resilienz sollten in IIRA noch konkretisiert werden.

In RAMI sollten die Systemaspekte zur Resilienz an einer Stelle gebündelt dargestellt werden.

MANUSERV

Vom manuellen Prozess zum industriellen Serviceroboter

Im Projekt MANUSERV wird ein System zur Planungs- und Entscheidungsunterstützung entwickelt, das potenziellen Anwendern von industrieller Servicerobotik eine vereinfachte Analyse und Bewertung ihrer Prozesse hinsichtlich möglicher (Teil-) Automatisierungslösungen ermöglicht. Dabei geht es sowohl um die technologische Realisierbarkeit als auch um die ökonomische Sinnhaftigkeit für die Gestaltung eines hybriden Mensch-Roboter-Arbeitsplatzes.

www.manuserv.de

Die Gestaltung eines hybriden Mensch-Roboter-Arbeitsplatzes lässt sich in RAMI 4.0 angemessen darstellen. Die Funktionsschicht ist in MANUSERV viel umfangreicher ausgestaltet als die restlichen Schichten von RAMI 4.0. Eine Untergliederung der Funktionsschicht in RAMI 4.0 wäre an dieser Stelle sinnvoll.

In der MANUSERV-Softwarearchitektur wurden bereits Security-by-Design- und Resilienz-Prinzipien berücksichtigt. Beides wird in IIRA 1.7 angemessen berücksichtigt. Sowohl RAMI 4.0 als auch IIRA 1.7 leisten eine sinnvolle Orientierungshilfe in der momentan heterogenen Landschaft der Industrie-4.0-Komponenten.

motionEAP

Assistenzsystem für die Montage mit Echtzeit-Feedback

Im Projekt motionEAP wurde ein neuartiges prozessorientiertes Assistenzsystem für Montageprozesse in der Produktion konzipiert. Das Assistenzsystem gibt dem Mitarbeiter schon während des Arbeitsvorgangs eine Rückmeldung, ob die Arbeitsschritte richtig ausgeführt werden. Ebenso weist es auf ergonomisch ungünstige Bewegungen und Haltungen hin. Die Hinweise werden dem Mitarbeiter über eine Projektion direkt im Arbeitsbereich angezeigt, sei es auf dem Werkstück, dem Arbeitstisch oder der Arbeitsvorrichtung. Ein besonderes Augenmerk legen die Projektpartner auf die Anforderungen älterer und leistungsgeminderter Montagearbeiter, für die ein solches Assistenzsystem besonders nützlich sein kann.

www.motioneap.de

RAMI 4.0 eignet sich gut als Kommunikationswerkzeug („common ground“) für die interessensübergreifende Verständigung zwischen verschiedenen Geschäftsbereichen oder auch firmeninternen Gewerken.

Der RAMI-4.0-Würfel kann gut als Klassifizierungstool z. B. zur Funktionsbeschreibung eines Projektprodukts von Projektpartnern, aber auch Endanwendern oder auch zum Vergleich mit den alternativen Lösungen genutzt werden. Referenzarchitekturmodelle leisten eine Hilfestellung im initialen Projektzustand. Weiterhin werden aber die Softwarearchitekturen an die projektspezifischen Anforderungen angepasst. Durch die Anpassungen besteht jedoch die Gefahr, dass der Anschluss an die Referenzarchitekturmodelle verloren geht.

APPsist

Mobile Assistenzsysteme und Internetdienste in der intelligenten Produktion

Im Projekt APPsist wird ein KI-basiertes Wissens- und Assistenzsystem entwickelt, das einen Mitarbeiter bei den Tätigkeiten wie Inbetriebnahme, Betrieb, Wartung, Reparatur und vorbeugende Instandhaltung von Anlagen unterstützt. Das Assistenzsystem APPsist setzt dabei an der Expertise des Mitarbeiters an, um den Mitarbeiter gezielt bei komplexen bzw. neuen Aufgaben anzuleiten. Die Entwicklung der Wissens- und Assistenzdienste erfordert sowohl ein technisches als auch personales und organisationales Wissen, damit eine adäquate Unterstützung des Mitarbeiters auch unter der Berücksichtigung der arbeitsrechtlichen Aspekte möglich wird.

www.appsist.de

Die Systemarchitektur von APPsist ließ sich im Wesentlichen in RAMI gut einordnen. Allerdings werden im Rahmen von APPsist auch Dienste umgesetzt, die eine Life-Cycle-übergreifende Kommunikation erfordern und sich nicht eindeutig einer bestimmten Phase zuordnen lassen. Bei der Umsetzung von Security-by-Design-Prinzipien in RAMI sollten auch die datenschutzrelevanten Aspekte, wie z. B. das Management und der Zugriff auf personenbezogene Daten, berücksichtigt werden.

Die Beschreibung von RAMI 4.0 ist zwar kompakt, aber sehr abstrakt und daher schwer anwendbar. Es sollte ein eingängiges Beispiel angeboten werden, das alle Dimensionen und Ebenen nachvollziehbar und transparent erklärt. Durch die dreidimensionale Darstellung werden bestimmte Teile der projektspezifischen Architektur überdeckt. In APPsist hat sich eine zweidimensionale Darstellung bewährt, in der der RAMI 4.0-Würfel auf mehrere Grafiken aufgeteilt ist.

InnoCyFer

Integrierte Gestaltung und Herstellung kundeninnovierter Produkte in Cyber-Physischen Fertigungssystemen

Die Realisierung individueller Gestaltungswünsche der Verbraucher wird zu einer zunehmenden Anforderung für das produzierende Gewerbe. Immer mehr Kunden verlangen einen stärkeren Individualisierungsgrad. Sie wollen direkten Einfluss auf die Gestalt und Funktion des Produktes nehmen. Dafür werden neue Infrastrukturen und hochflexible Fertigungsanlagen benötigt, die es erlauben, die Ideen des Kunden kurzfristig umzusetzen und Änderungen bis in die späten Phasen des Produktentstehungsprozesses zu ermöglichen. Am Beispiel eines individuellen Kaffeefullautomaten wird im Projekt InnoCyFer der Weg von standardisierten hin zu kundenindividuellen Produkten demonstriert.

www.innocyfer.de

Das Projekt InnoCyFer hat genauso wie APPsist den dreidimensionalen RAMI-4.0-Würfel in mehrere zweidimensionale Ansichten aufgeteilt und so die Einordnung der projektspezifischen Architektur in die RAMI-4.0-Schichten vorgenommen.

Bei der Auswahl von Standards und Technologien wären konkrete Beispiele, die auf spezifischen Ebenen von RAMI 4.0 angesiedelt sind, sehr hilfreich.

GEMINI

Geschäftsmodelle für Industrie 4.0

Ziel des Projektes GEMINI ist die Entwicklung und Bereitstellung von Methoden und Instrumenten zur Entwicklung und Operationalisierung von Geschäftsmodellen in den neuen Wertschöpfungsstrukturen des Bereichs Industrie 4.0. Es werden spezifische Geschäftsmodellmuster, Technologien und Risiken ermittelt und aufbereitet sowie über einen IT-basierten Geschäftsmodell-Konfigurator zur Entwicklung von Geschäftsmodellen verfügbar gemacht. Ein Operationalisierungsplaner unterstützt im Anschluss die Integration des entwickelten Modells in die unternehmerische Wertschöpfung.

www.geschaeftsmodelle-i40.de

Die GEMINI-Methodik stellt eine Grundlage für die im Business Viewpoint anstehenden Überlegungen dar, die wiederum den Ausgangspunkt für die Modellierung von funktionalen Architekturkomponenten darstellen.

Fazit

Beide Referenzarchitekturen verfolgen ein gemeinsames Ziel: die Schaffung eines einheitlichen Ordnungsschemas mit einer wohldefinierten Terminologie, das eine Grundlage für ein gemeinsames Verständnis zwischen verschiedenen Stakeholdern bei der Entwicklung von komplexen Technologien bietet.

Ein wichtiger Wunsch der AUTONOMIK-Projekte waren eingängige Beispiele für verschiedene Domänen, die die Anwendbarkeit und Nutzerfreundlichkeit beider Referenzarchitekturen enorm steigern würden. Die Aspekte Security-by-Design und Resilience-by-Design werden momentan in RAMI 4.0 nicht berücksichtigt. Beides sollte in der nächsten Version von RAMI 4.0 unbedingt behandelt werden, um Softwarearchitekten und IT-Sicherheitsexperten eine gemeinsame Verständigungsbasis zu geben. IIRA 1.7 sollte einerseits in der Beschreibung der einzelnen Key Concerns vereinheitlicht werden, andererseits sollte der inhaltliche Rahmen kompakter gehalten werden. RAMI 4.0 schneidet gegenüber IIRA 1.7 hinsichtlich der Klarheit, Transparenz und Kompaktheit der gewählten Struktur deutlich besser ab. Diese klare und transparente Struktur von RAMI 4.0 war bei mehreren Projekten entscheidend bei der Wahl des Referenzarchitekturmodells.

Allerdings kann der hohe Grad an Abstraktion hinderlich bei der Einordnung in die jeweiligen Schichten sein, weil konkrete Beispiele und Hinweise zu Technologien fehlen.

Der RAMI-4.0-Würfel erlaubt eine eingängige und kompakte Darstellung. Allerdings ist die Einordnung in die einzelnen Ebenen des 3D-Würfels durch gegenseitige Verdeckung oft schwierig. 2D-Visualisierungen würden von den Projekten sehr begrüßt und in Eigeninitiative bereits für die Darstellung der eigenen Architekturkomponenten verwendet.

Insgesamt waren sich alle Projekte darüber einig, dass eine interaktive, web-basierte Umgebung die Weiterentwicklung der Referenzarchitekturen fördern würde. Eine solche interaktive Umgebung, z. B. im Rahmen der Plattform Industrie 4.0, würde eine Möglichkeit bieten, sich mit ähnlich aufgestellten Projekten zu vernetzen, eine gemeinsame Strukturierung der technologischen Lösungen durch die Einordnung in RAMI 4.0 (bzw. IIRA 1.7) vorzunehmen und voneinander in der Entwicklung und Wiederverwendung von Technologien und bereits bestehenden Konzepten oder auch Geschäftsmodellen zu profitieren.

Eingeladene Beiträge

Referenzarchitekturmodelle – Grundlage zur Entwicklung von Industrie-4.0-Systemen

Prof. Dr.-Ing Reiner Anderl, TU Darmstadt

1. Einführung

Industrie 4.0 zielt auf die Einführung einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den gesamten Lebenszyklus von Produkten. Grundlage sind dazu so genannte Cyber-Physische Systeme (CPS), die als moderne mechatronische Systeme miteinander sowohl drahtlos über Sensornetzwerke oder drahtgebunden über ein leistungsfähiges Industrial Ethernet-Kabel vernetzt sind. Zukünftige Produkte (sie werden wegen ihrer Vernetzungs- und Kommunikationsfähigkeit auch als Smart Products bezeichnet), wie auch zukünftige Produktionsmittel (z. B. Werkzeugmaschinen, Werkzeuge, Vorrichtung, Montageeinrichtungen, Roboter- und Handhabungssysteme, wie auch Prüfeinrichtungen) werden dadurch vernetzbar und kommunikationsfähig². Darüber hinaus werden auch Bauteile in einer Produktion als Informationsträger verstanden, so dass z. B. eine zukünftige Produktion (die so genannte Smart Factory) eine sehr flexible, anpassungsfähige wie auch resiliente Produktionsumgebung sein wird.

Weltweit hat die Entwicklung von Lösungen für vernetzte und kommunikationsfähige Systeme eine hohe Bedeutung gewonnen. Die wichtigsten Aktivitäten sind neben Industrie 4.0 in Deutschland die Initiativen Digitising Industry der Europäischen Union, das Industrial Internet Consortium in USA sowie Made in China 2025 in China. Darüber hinaus sind eine Vielfalt von weiteren Projekten und Initiativen entstanden, die auf die Integration von Produkten und Produktionsmitteln mit der Internettechnologie zielen.

Die Dynamik der technologischen Entwicklung ist extrem hoch und es entstehen vielfältige Lösungen mit unterschiedlicher Technologietiefe für verschiedene

Anwendungsbereiche. Gerade für Vernetzung und Kommunikation ist aber Kompatibilität und Interoperabilität von entscheidender Bedeutung. Gebraucht wird ein Ordnungsschema, das die Strukturierung von Entwicklungs- und Anwendungsfeldern erlaubt und dazwischen Zusammenhänge herstellt.

2. Referenzmodelle

Referenzmodelle stellen solche Ordnungsschemata bereit, um die enorme Komplexität, die sich aus dem infiniten Lösungsraum für die Entwicklung einer Vielfalt vernetzter und kommunikationsfähiger Systeme und deren breiten und unterschiedlichen Anwendungsfeldern ergibt, zu strukturieren. Referenzmodelle stellen als Bezugssystem auch einen Rahmen zur Verfügung, in dem eine Identifikation und Verortung eigener Ziele wie z. B. Entwicklungsaktivitäten möglich wird. Referenzmodelle weisen eine Ordnungsstruktur aus und zeigen Zusammenhänge auf. Sie liefern damit eine Grundlage für ein gemeinsames Verständnis. Die Definition einer Terminologie gehört deshalb ebenso zu einem Referenzmodell wie die Logik der Ordnungsstruktur. Häufig werden Referenzmodelle abstrakt und generisch festgelegt, um einen möglichst hohen Spielraum für die Entwicklung spezifischer innovativer Lösungen zu unterstützen. Dies führt dann zu dem Ansatz von Referenzarchitekturmodellen.

3. Referenzarchitekturmodelle

Referenzarchitekturmodelle liefern einen gestaltenden Entwurf für eine solche Ordnungsstruktur. Hierbei handelt es sich um einen überaus kreativen Ansatz, der nicht von oder von wenigen, bzw. wenig bekannten Vorbildern ausgeht. Darin liegt auch die hohe Bedeutung von Referenzarchitekturmodellen. Referenzarchitekturmodelle sind originäre Vorbilder, die als Grundlage für vielfältige Entscheidungen genutzt werden, wie z. B. für

- zukünftige Entwicklungen,
- Entfaltung von neuen Geschäftsaktivitäten oder auch
- gesellschaftliche und politische Meinungsbildung.

Referenzarchitekturmodelle liefern als Ordnungsstruktur auch die Möglichkeit der Identifikation von Normungs- und Standardisierungsbedarfen.

Derzeit sind zwei Referenzarchitekturmodelle veröffentlicht worden. Diese sind zum einen das Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0) der Plattform Industrie 4.0^{3, 4} und das Industrial Internet Reference Architecture Model (IIRA) des Industrial Internet Consortiums⁵. Beide Referenzarchitekturmodelle spielen für die digitale Transformation der Industrie eine bedeutende Rolle. Dargestellt werden sie als 3-dimensionaler Würfel, der verschiedene Schichten ausweist.

In RAMI 4.0 sind 3 Dimensionen definiert worden, die Abbildung des Wertstroms, die Abbildung von Hierarchieebenen und die Abbildung von Integrationsebenen.

In IIRA werden 4 Schichten definiert, die aufeinander aufbauen. Diese Schichten werden als Viewpoints bezeichnet und umfassen den Implementation Viewpoint, den Functional Viewpoint, den Usage Viewpoint und den Business Viewpoint.

In den Referenzarchitekturmodellen werden die Spezifika für eine effektive Implementierung vernetzter und kommunikationsfähiger Systeme beschrieben. Ebenso werden Rahmenbedingungen festgelegt, die zu Anwendungen führen, für die besondere Anforderungen erfüllt sein müssen. Dazu gehören Betriebssicherheit, IT-Sicherheit, Vertrauensschutz und Privatheit, Resilienz, Integrität, Interoperabilität und Kompatibilität, Vernetzungsfähigkeit, effizientes Datenmanagement, Analytics und fortgeschrittene Datenverarbeitung, intelligente und resiliente

Steuerung sowie dynamische Konfiguration und automatisierte Interoperabilität.

Referenzarchitekturmodelle stellen eine essentielle Grundlage für eine Ordnungsstruktur und die Terminologie komplexer Technologien dar und sind deshalb so wichtig, weil sich daran neue Geschäftsmodelle sowie Innovationen für Produkte und Dienstleistungen (insbesondere Internet-basierte Dienstleistungen) orientieren. Referenzarchitekturmodelle dienen auch der Identifikation und Verortung von Themenfeldern, zu denen internationale Normen und Standards erforderlich sind. Damit sind Referenzarchitekturmodelle eine entscheidende Grundlage für die Entwicklung, Markteinführung und Nutzung moderner vernetzbarer und kommunikationsfähiger Systeme.

3 Usländer 2015

4 BITKOM 2015

5 IIC 2016

Sicherheit für Autonomik

Dr. Lutz Jänicke, Phoenix Contact Cyber Security AG

Hinter dem Begriff Industrie 4.0 werden vielfältige, unterschiedliche Erwartungen zusammengefasst, deren gemeinsame Basis die Digitalisierung ist. Durch immer weiter wachsende Fähigkeiten und günstigere Kosten von Computersystemen entstehen neue Möglichkeiten, in Hard- und Software Funktionen zu realisieren. Alle Bereiche der Automatisierung werden über den kompletten Lebenszyklus von der Konzeption bis zur Außerbetriebnahme erfasst. Entwurf und Planung gewinnen durch Virtualisierung der Produktionsanlagen und deren Hardwarekomponenten zusammen mit neuen Optimierungs- und Simulationsmethoden an Effizienz. In der diskreten Fertigung wie in der Verfahrenstechnik wird höhere Qualität flexibler und effizienter realisiert. Durch Optimierungen in der Logistik werden Kunden zielgerichtet besser bedient. Durch smarte Produkte können neue Dienstleistungen für Kunden Wert schaffen. In jedem Bereich und in jeder Branche sind die Erwartungen an Industrie 4.0 dabei unterschiedlich formuliert.

Ein wichtiger Bereich der zukünftigen Entwicklungen ist die Autonomik. Durch eigenständiges Handeln von Systemen soll der Mensch in vielfältigen Funktionen entlastet oder von eintönigen und sich ständig wiederholenden Aufgaben befreit werden. Im Rahmen des Querschnittthemas „Zukunft der Arbeit“ des BMWi-Technologieprogramms „AUTONOMIK für Industrie 4.0“ werden aktuell verschiedene Szenarien diskutiert, in denen der Mensch entweder mehr Kontrolle und Verantwortung in der automatisierten Arbeitswelt übernimmt oder ganz im Gegenteil die Kontrolle über die einzelnen Entscheidungen komplett an autonome Systeme abgibt. Gerade im zweiten Szenario entfällt dabei die Rolle des Menschen als verantwortlich Handelndem im jeweiligen Kontext, wodurch die Anforderungen an die Security und Safety von autonomen Systemen wachsen.

In der Plattform Industrie 4.0 beschäftigt sich die Arbeitsgruppe Sicherheit vernetzter Systeme mit den entsprechenden Themen. Ein erster Überblick wurde in 2015 veröffentlicht⁶.

1. Sicherheitsanforderungen an autonome Systemen

Safety für den Schutz vor den Systemen

In vielen Bereichen gibt es regulatorische Vorgaben, die dem Schutz der Allgemeinheit (z. B. die Störfallverordnung für den Umweltschutz) oder des Einzelnen (die Maschinenrichtlinie⁷ im Kontext der Arbeitssicherheit) dienen. Um die entsprechenden Anforderungen erfüllen zu können, müssen durch den Entwickler oder den Betreiber Maßnahmen entsprechend dem Stand der Technik ergriffen, nachgewiesen und dokumentiert werden, die entstehende Risiken auf ein akzeptables Maß reduzieren. Aktuelle Diskussionen etwa zum autonomen Fahren spiegeln die entsprechenden Anforderungen an die Sicherheit der neuen Technologie wider, für die heute noch kein anerkannter Stand der Technik existiert.

Security für den Schutz des Systems

Damit ein autonomes System seiner Aufgabe vollständig gerecht werden kann, muss es selbst aber auch gegen unbeabsichtigte Fehlbedienung oder gezielte Angriffe geschützt sein. Dabei sind die wesentlichen Ziele der Integrität, der Verfügbarkeit und der Vertraulichkeit zu betrachten⁸.

Integrität

Der Schutz der Integrität eines Systems ist eine Kernaufgabe. Ohne Schutz vor absichtlicher Manipulation oder unabsichtlicher Veränderung können die meisten Systeme ihrer Aufgabe nicht nachkommen.

Im Bereich der oben beschriebenen Safety-Aufgaben sind heute strenge Auflagen gegen unabsichtliche Veränderung oder technische Fehler zu befolgen, damit Unfälle mit großer Sicherheit vermieden werden können. Der Schutz gegen gezielte Angriffe auf Safety-Funktionen in der Automatisierungstechnik ist ein aktuell offenes

⁷ Richtlinie 2006/42/EG

⁸ Plattform Industrie 4.0 2015

⁶ Plattform Industrie 4.0 2015

und intensiv diskutiertes Thema, zu dem weltweit Arbeitsgruppen agieren⁹.

Natürlich ist auch die eigentliche Automatisierungsfunktion in Ihrer Integrität zu schützen. Fehlerhafte Produkte dürfen natürlich nicht gefertigt werden und können im Rahmen von Verpflichtungen zur Produkthaftung wirtschaftlich große Schäden hervorrufen. Insofern werden Automatisierungssysteme selbstverständlich angehalten, wenn die Integrität nicht mehr gewährleistet ist, die meisten Anwender werden dies aber als Verfügbarkeitsproblem betrachten.

Wenn in Industrie 4.0 autonome Systeme nicht nur lokale technische Entscheidungen treffen, sondern auch unternehmensübergreifend agieren, entstehen neue rechtliche Fragestellungen. Ist eine Maschine berechtigt, eine Bestellung auszulösen? Bis zu welcher Höhe ist sie berechtigt? Ist die Bestellung rechtlich bindend? Wer haftet gegenüber wem, wenn die Maschine einen Fehler macht? Der Maschinenhersteller für einen Fehler im System? Der Betreiber der Maschine gegenüber dem externen Partner, der einen Schaden hat? Hier bestehen vielfältige offene Fragen in juristischer Forschung und der Politik, die in der Plattform Industrie 4.0 von der Arbeitsgruppe „Recht“ bearbeitet werden¹⁰.

Verfügbarkeit

Kernanforderung an jede Automatisierungslösung ist die Verfügbarkeit, da sie direkt mit der Wertschöpfung verknüpft ist. Ein Aspekt von autonom agierenden Systemen in Industrie 4.0 ist die Resilienz des Gesamtsystems durch automatische Anpassungen und Optimierungen, die den negativen Auswirkungen einer eventuellen Störung entgegenwirken.

Wie bei allen Betrachtungen ist die Verfügbarkeit von Safety-Lösungen ein besonders wichtiges Ziel, da der Schutz von Menschen höher wiegt als die unternehmerische Wertschöpfung.

⁹ DKE TBINK Arbeitskreis IT-Security und Security by Design, IEC TC65 AHG1, et al.

¹⁰ www.ju-rami.com

Vertraulichkeit

Im Zeitalter der Digitalisierung gewinnt der Schutz von Informationen eine immer höhere Bedeutung. Neben den Anforderungen des Datenschutzes, die rechtlich einzuhalten sind, besteht der Bedarf, Know-how, Rezepturen, Qualitätsdaten und vieles mehr gegen Offenlegung zu schützen. Dieses Thema ist heute ein absolutes Hindernis für viele neue Geschäftsmodelle im Bereich von Fernwartung, Condition Monitoring und insbesondere Cloud Computing, da die meisten Betreiber unkontrollierten Informationsabfluss auf jeden Fall vermeiden wollen.

2. Beispielhafte Aspekte von Schutzmaßnahmen

Informationsklassifizierung

Die wichtigste Aufgabe in der Informationssicherheit ist die Bewertung des Schutzbedarfs von Informationen und Systemen. Dem Alten Fritz folgend verteidigt man, wenn man alles zu verteidigen sucht, am Ende gar nichts. Entsprechend ist es wichtig, die Prioritäten in der Informationssicherheit richtig zu setzen, damit die wichtigen Unternehmenswerte geschützt werden, gleichzeitig aber neue Geschäftsmodelle ermöglicht und genutzt werden können.

Im Kontext von Industrie 4.0 und autonomen Systemen müssen die Informationen und Systeme so gekennzeichnet werden, das automatisiert entschieden werden kann, wie vorgegangen werden soll. Ein Modell, in dem etwa öffentliche Informationen jederzeit weitergegeben werden können, interne oder vertrauliche Informationen nur an ausgewählte andere Partner oder Systeme mit nachgewiesenem Schutzniveau, streng vertrauliche Informationen nie oder nur unter noch strengeren Auflagen, muss entwickelt und umgesetzt werden.

Anwendungssicherheit

Typischerweise wird bei Diskussionen über Informationssicherheit gerne die Betrachtung auf Netzwerksicherheit beschränkt, da hier die „einfachen Lösungen“ Firewall und Verschlüsselung im Raum stehen. In der Praxis spielen

bei den meisten der aktuellen Bedrohungen Netzwerke eine wichtige Rolle bei Angriff oder Ausbreiten. Die Angriffe erfolgen aber über Schwachstellen in den Systemen oder den Anwendungen selbst: Mangelnde Zugriffskontrolle, fehlende Integritätsprüfung übertragener Daten und vieles mehr. Ein mehr an Sicherheit lässt sich hier nur durch gutes Design unter Berücksichtigung einer Bedrohungsanalyse sowie entsprechende Implementierung und gezielten Test gegen die Security-Anforderungen realisieren. Hier ist in den meisten Bereichen der Informationstechnik noch viel Nachholbedarf. Im Bereich der Automatisierungstechnik wird das Thema durch den fast vollständigen Standard IEC 62443¹¹ adressiert, der den heutigen Stand der Technik repräsentiert. Die Besonderheiten der autonomen Systeme und Anforderungen der unternehmensübergreifenden Industrie-4.0-Wertschöpfungsnetzwerke werden aber in IEC 62443¹² noch nicht berücksichtigt.

Kommunikationssicherheit

Der Informationsaustausch zwischen den beteiligten Partnern ist entsprechend gegen Bedrohungen zu schützen. Beim Aufbau einer Kommunikationsverbindung müssen sich beide Partner entsprechend ihrer Rolle sicher identifizieren können. Um den Schutz von Informationen geeignet sicher zu stellen, muss dabei auch die Klassifizierung der Information und der bereitgestellte Schutz abgeglichen werden. Erst dann dürfen Informationen ausgetauscht werden.

Wichtig ist hierbei, die richtigen Maßnahmen zu ergreifen. Während im Umfeld privater Kommunikation häufig von „Ende zu Ende Security“ durch Verschlüsselung gesprochen wird, kann im Unternehmensumfeld ein Weg über Zwischenserver mit Einblick in den Datentransfer sinnvoll sein, um Informationsabfluss oder Angriffe über die Kommunikationsverbindung detektieren zu können.

Nähere Informationen finden sich der Veröffentlichung¹³ der AG Sicherheit vernetzter Systeme der Plattform Industrie 4.0.

Sichere Identitäten

Die grundsätzliche Bedeutung sicherer Identitäten geht über die Kommunikation hinaus. Ebenso finden sie in vielen anderen Themen wie dem Know-how-Schutz und dem Lizenzmanagement Anwendung. Eine ausführliche Betrachtung wurde von der AG Sicherheit vernetzter Systeme veröffentlicht¹⁴.

3. Systemische Betrachtung mit RAMI 4.0

Um eine systematische Einbettung aller Aspekte von Industrie 4.0 in Konzepte, Design und Umsetzung zu ermöglichen, wurde das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)¹⁵ erarbeitet. Security-Aspekte sind dabei über alle Bereiche des RAMI 4.0 relevant¹⁶. Die Abbildung der oben diskutierten Anforderungen an Informationsklassifizierung, Anwendungs- und Kommunikationssicherheit, sicheren Identitäten und mehr in Verwaltungsschale der Industrie-4.0-Komponenten wird die nächste Aufgabe sein.

11 Industrial Communication Networks

12 Industrial Communication Networks

13 Plattform Industrie 4.0 2016 I

14 Plattform Industrie 4.0 2016 II

15 RAMI4.0

16 Plattform Industrie 2016 III

Beiträge der AUTONOMIK-Projekte

Offene Engineeringplattform für autonome, mechatronische Automatisierungskomponenten in funktionsorientierter Architektur

Benjamin Brandenbourger, fortiss GmbH
Johannes Hoos, Festo AG & Co. KG

1. Einleitung

Architektur ist im Zusammenhang mit zukünftigen Produktionssystemen im Rahmen von Industrie 4.0 ein vielseitig verwendeter Begriff. Im konkreteren Kontext des Anlagenengineerings und Anlagenbetriebs fallen darunter unter anderem die Stichworte „Steuerungsarchitektur“, „mechatronische Architektur“ und „funktionale Architektur“. Alle drei Architekturtypen beschreiben die Architektur einer Maschine/ eines Automatisierungssystems aus unterschiedlichen Blickwinkeln.

Die Steuerungsarchitektur beschreibt durch alle Hierarchien hindurch ein Netzwerk aus Steuergeräten, Steuersignalen, Bussystemen, Buskopplern, HMI-Systemen und höher gelagerten Steuereinheiten wie z. B. SCADA-Systemen, MES-Systemen bis hin zum ERP-System. Die Steuerungsarchitektur dokumentiert außerdem die Architektur von Softwareeinheiten eines Systems.

In der mechatronischen Architektursicht wird der mechanische und elektrische Aufbau einer Anlage dokumentiert. Hier wird der Zusammenhang von mechanischen Bauteilen, Automatisierungskomponenten und elektrischem Equipment beschrieben. Klassisch werden diese Architekturen in CAD-Modellen bzw. elektrischen Schaltplänen realisiert.

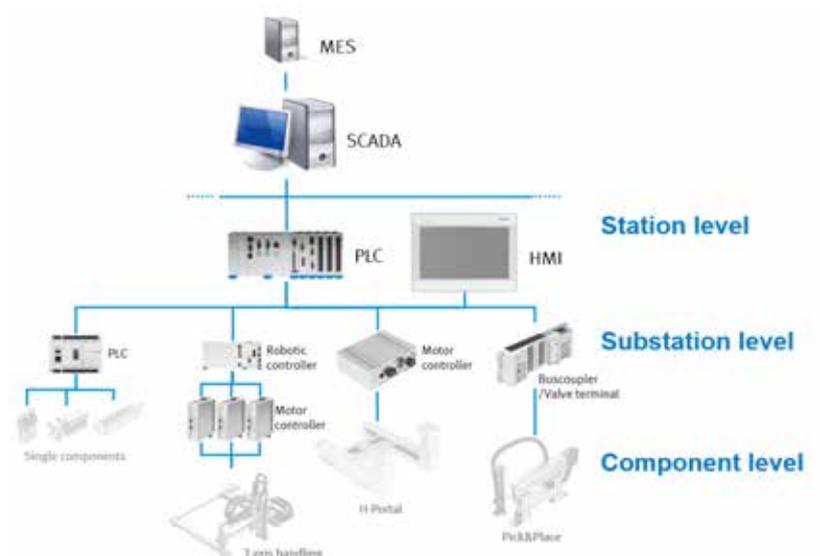


Abb. 2: Steuerungsarchitektur

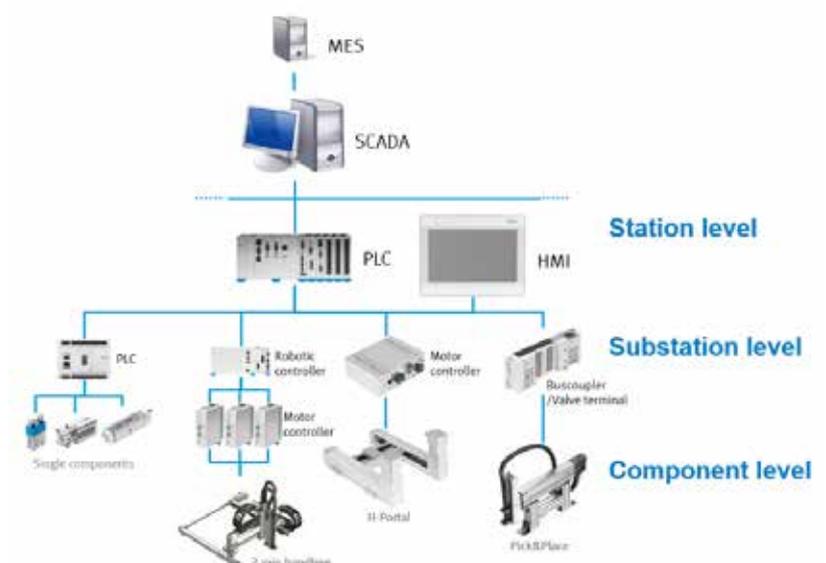


Abb. 3: Mechatronische Architektur

Die funktionale Architektur stellt die Fähigkeiten aus Sicht der Anlage und die Funktionalität aus Sicht der Applikation in den Vordergrund. Beginnend in den unteren hierarchischen Ebenen einer Anlage, dokumentiert diese Architektursicht das Vorhandensein von Fähigkeiten – z. B. von Automatisierungskomponenten. Des Weiteren werden Aggregationen von einzelnen Fähigkeiten hin zu orchestrierten, höherwertigen Anlagenfunktionen in dieser Architektursicht dargestellt. So wird z. B. aus zwei pneumatischen Linearachsen und einem Greifer mit den Fähigkeiten „GoToPosition“ und „Grip/Release“ die höherwertige Funktion „Pick&Place“ in einem neuen Modul „Handling“ orchestriert. Auf diese Weise lässt sich eine ganze Anlage der Applikation entsprechend funktional beschreiben. Die funktionale Architektur ist eine serviceorientierte Architektur, wie sie vielen Überlegungen der Plattform Industrie 4.0 zugrunde liegt.

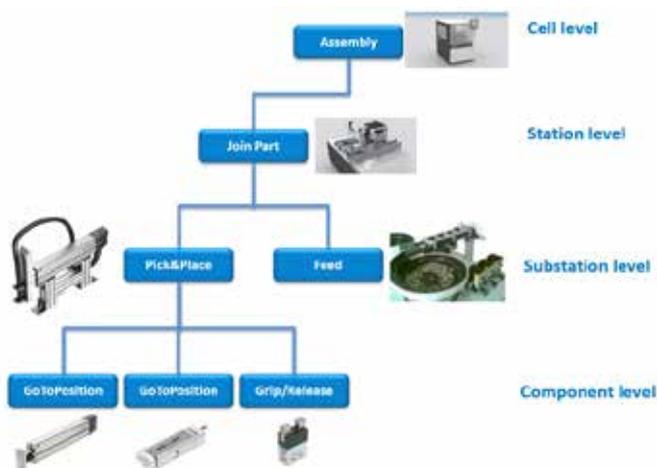


Abb. 4: Funktionale Architektur einer Maschinenzelle

Im Forschungsprojekt OPAK wird im Engineering eine differenzierte Sicht auf diese unterschiedlichen Architektur-aspekte und insbesondere deren konkrete Bearbeitung im Engineering ermöglicht. Basierend auf dem IEC61131-3-Tool CODESYS Application Composer wurden, zusätzlich zum bereits existierenden Editor für die Steuerungsarchitektur einer Applikation, die Sichtweisen „funktionale Architektur“ und „mechatronische

Architektur“ hinzugefügt. Dies ermöglicht eine architekturgestützte, funktionsorientierte Engineeringmethodik.

2. OPAK und RAMI 4.0

RAMI 4.0 „Hierarchy Levels“ (horizontale Achse rechts)

In OPAK wird die hierarchische Anlagenstruktur über die mechatronische Architektursicht ähnlich wie in der horizontalen Achse „Hierarchy Levels“ beschrieben (Abb. 3). Dabei konzentriert sich OPAK vor allem auf Bereiche innerhalb von Anlagen, und detailliert diesen Bereich entsprechend dem Bedarf im Anlagenengineering weiter aus.

RAMI 4.0 „LifeCycle & Value Stream“ (horizontale Achse links)

OPAK beschränkt sich bei der Lebenszyklus- und Wertschöpfungssicht aus RAMI 4.0 auf den Lebenszyklus der Anlage. Produktlebenszyklen spielen aktuell keine Rolle. Beim Lebenszyklus der Anlage steht bei OPAK das OPAK Metamodell im Zentrum, das bereits in den frühen Engineeringphasen der Anlage zum Tragen kommt. Dieses Metamodell beschreibt eine herstellerunabhängige Struktur von funktional klassifizierten Automatisierungskomponenten. Mit diesen generischen, herstellerunabhängigen Automatisierungskomponenten wird ein erster Entwurf der Anlage erstellt. Dieser ist die Grundlage für die Ausdetaillierung in den späteren Engineeringphasen.

RAMI 4.0 „Layers“ (vertikale Achse)

Die vertikale Achse spiegelt sich in OPAK in den verschiedenen Sichtweisen auf eine Anlage wieder, die in der Einleitung dieses Dokuments beschrieben sind. Die beiden untersten Layers „Asset“ und „Integration“ entsprechen der mechatronischen Sichtweise (Abb. 3) in OPAK. Die Schichten „Communication“ und „Information“ entsprechen der klassischen Steuerungsarchitektur (Abb. 2), und die Schicht „Functional“ entspricht der funktionalen Sichtweise (Abb. 4) in OPAK.

Realisierung in OPAK

Der herstellerübergreifende Datenaustausch wird in OPAK in AutomationML realisiert. In OPAK werden Tools zur Unterstützung des Modellierungsprozesses entwickelt, die eine direkte Anknüpfung an das industrielle Engineering-tool CODESYS erlauben.

3. Zusammenfassung

Wichtige Aspekte von RAMI 4.0 sind im Konzept von OPAK vorhanden und ausdetailliert. Generell konzentriert sich OPAK stark auf die Engineeringphasen von Maschinen und Anlagen. Folglich stehen Geschäftsmodelle und Produkte nicht im Vordergrund.

Das OPAK-Konsortium begrüßt ausdrücklich die Standardisierungsbemühungen der Plattform Industrie 4.0 für Architektur und Beschreibung von Automatisierungskomponenten.

Aus heutiger Sicht kann das RAMI-Referenzarchitekturmodell generell zur Einordnung von Zusammenhängen

und Abhängigkeiten in der Industrie 4.0 dienen. Dazu zählt durchaus auch die technische Nutzung des Modells durch Softwaresysteme über Nutzung der Informationen über Zusammenhänge und Abhängigkeiten.

Für die praktische Anwendung in Tools im Engineering und im Betrieb ist das Referenzmodell jedoch für die spezifischen Domänen noch zu ungenau. Wünschenswert wäre daher eine Schnittstelle zum Architekturmodell RAMI, die es den entsprechenden Domänen ermöglicht, ihre detaillierten Architekturmodelle auf RAMI 4.0 zu mappen.

Eine Anmerkung speziell zu den Hierarchielevels: Hier entspricht das Architekturmodell ziemlich genau der klassischen Automatisierungspyramide. Da sich gerade hier aber erhebliche Veränderungen abzeichnen und in der Zukunft die heute noch starke Dominanz von Master-Slave-Systemen abnehmen wird, wäre eine Anpassung notwendig, um zukünftige, stärker verteilte und weniger streng hierarchische Systeme in RAMI 4.0 abbilden zu können.

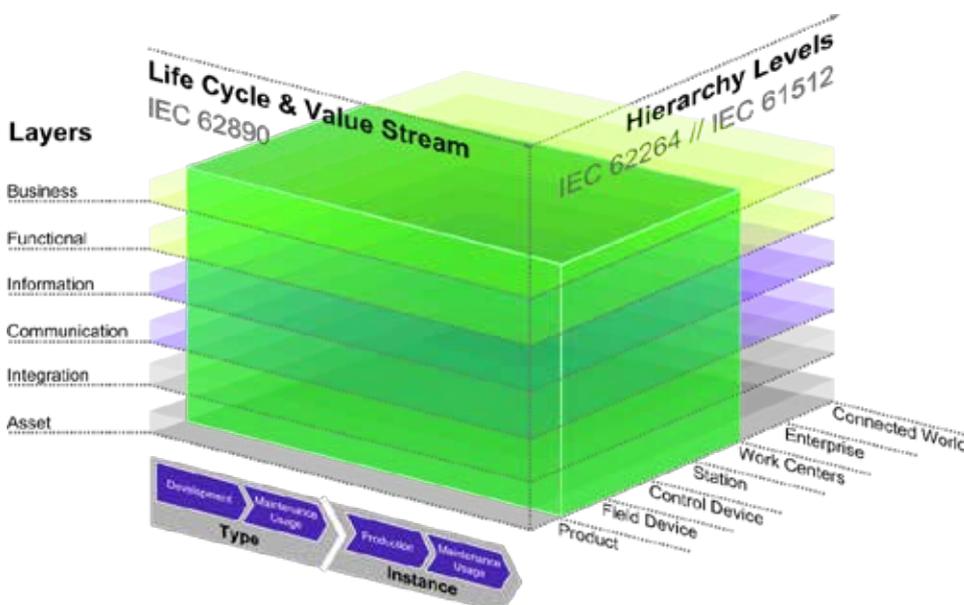


Abb. 5: OPAK und RAMI 4.0

Einordnung von Projekt CoCoS in das Referenzarchitekturmodell RAMI 4.0 und in die Industrial Internet Referenzarchitektur IIRA

Michael Doering, Robert Bosch GmbH

1. Einleitung

Die beiden 2015 veröffentlichten Referenzarchitekturen „RAMI 4.0“ und „IIRA“ sollen die Strukturierung des breiten und vielschichtigen Themas „Industrie 4.0“ ermöglichen und so eine Beschreibung komplexer Architekturen durch wohldefinierte Begriffe und einheitliche Ordnungskriterien ermöglichen. Im Rahmen des Workshops „Service-orientierte Architekturen für Industrie 4.0“ wurden die vor 2015 entstandenen Architekturen der Projekte des Förderprogramms „AUTONOMIK für Industrie 4.0“ zu den Referenzarchitekturen positioniert, um deren Anwendbarkeit und Nutzen für die Entwicklung zukünftiger Architekturen zu bewerten. Im Folgenden wird eine detaillierte Einordnung vom Projekt CoCoS in RAMI und IIRA vorgenommen.

Im Projekt CoCoS wird eine durchgängige Informationsinfrastruktur für eine vernetzte Produktion in intelligenten Fabriken entwickelt. Sie ermöglicht Unternehmen, verschiedene Fertigungsschritte mit einheitlich verbundenen Informationssystemen (Manufacturing Execution System – MES) zu steuern und erlaubt weiterhin eine flexible Erweiterung mit verschiedenen Produktionseinheiten zur Erhöhung der Fertigungskapazität. Die CoCoS-Systemarchitektur umfasst zwei Plattformen: die Vernetzungsplattform und die darauf aufbauende Dienstplattform (Abb. 4). Dabei werden die vielfältigen heterogenen Kommunikationsprotokolle und -technologien durch die Vernetzungsplattform integriert und vereinheitlicht abgebildet. Zudem werden die bisher aufwändig manuell durchgeführten Arbeitsschritte zur Einrichtung und Erhaltung der Konnektivität durch automatisierte Vernetzungsfunktionen vereinfacht (z. B. Plug-and-Play und Plug-and-Trust). Darauf aufbauend erfolgt die Anbindung von Sensorik und Aktuatorik, sowie die semantische Beschreibung dieser Komponenten. Zur Erhöhung der Robustheit werden hier verteilte Algorithmen eingesetzt,

um beispielsweise Anomalien in einem Sensornetz zu erkennen. Komplexere Self-X-Funktionalitäten wie Selbstheilung und Selbstoptimierung werden innerhalb der Dienstinfrastruktur bzw. als Micro- oder Cloud-Service implementiert. Die Integration von Anlagen in kooperierende und potenziell standort- oder gar organisationsübergreifende CPPS-Verbünde wird in Form von Cloud-Diensten ermöglicht. Somit können Fertigungsanlagen auch über Unternehmensgrenzen hinweg durchgängig in MES-Lösungen dargestellt und gesteuert werden. Ein konkretes Beispiel-Szenario wird im CoCoS-Demonstrator mit einem 3D-Drucker und einer Werkzeugmaschine, die verschiedene Teile eines Produkts fertigen, realisiert. Diese Anlagen werden als Fertigungsressourcen von einem MES-Dienst verwaltet und gesteuert, so dass Aufträge standortunabhängig angelegt und abgearbeitet werden können, während das MES in Echtzeit die Fertigungsschritte verwaltet und den Fortschritt der verschiedenen Aufträge darstellt.

2. Einordnung von CoCoS in das Referenzarchitekturmodell RAMI 4.0

Das RAMI 4.0 (Abb. 6) eignet sich gut zum Strukturieren der von CoCoS adressierten Themen. Es erlaubt als einheitliches Ordnungssystem darüber hinaus den Quervergleich im Förderprogramm. Zur Einordnung von CoCoS werden nun zunächst die Layer betrachtet. Die Schwerpunkte von CoCoS liegen in den Layern „Integration“, „Communication“ und „Information“. Dabei ist die durchgängige Integration ein Hauptziel, insbesondere sollen die negativen Auswirkungen der derzeit vorherrschenden Heterogenität von Anlagen und Komponenten durch eine einheitliche Darstellung in einer gemeinsamen Plattform reduziert werden. Integration umfasst in CoCoS dabei nicht nur die Komponenten und Teilsysteme einer Fertigungsanlage, sondern auch das Zusammenfassen verschiedener Anlagen (CPPSs) in einem übergeordneten Informationssystem

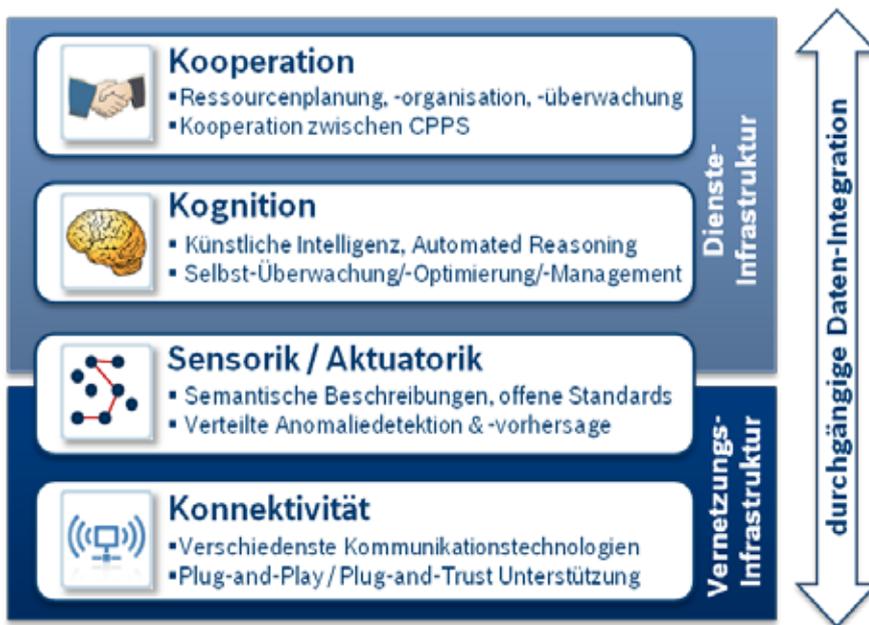


Abb. 6: CoCoS ermöglicht eine durchgängige Daten-Integration, die sowohl die Netzwerks- als auch die Dienstinfrastruktur umfasst.

Eine breite Abdeckung ergibt sich bei der Einordnung in die Hierarchy-Level der RAMI 4.0. Bei den „Field Devices“ sind beispielsweise die in CoCoS angewendeten Sensornetze zu nennen. Ebenso können „Control Devices“ (z. B. Steuerungen) an die Vernetzungsplattform angebunden werden, beispielsweise um eine Anlagenauslastung an den MES-Dienst bzw. die Dienstplattform zu übermitteln.

(Manufacturing Execution System – MES). Zur Erreichung dieses Ziels werden in CoCoS auch die darüber liegenden Layer Communication und Information miteinbezogen. Im Themenfeld Kommunikation bildet die Vernetzungsplattform einen Schwerpunkt. Hier wird die klassische Vernetzung durch intelligente „Self-X“-Zusatzfunktionen ergänzt, beispielsweise Selbstkonfiguration (Plug-and-Play) und Selbstoptimierung. Dies dient der schnellen und automatischen Rekonfiguration, die beispielsweise bei Kapazitätsengpässen bzw. Auftragsspitzen erforderlich werden kann, und zukünftig gemäß der Industrie-4.0-Vision zur Regel wird (durch sinkende Losgrößen und steigende Variantenanzahl). Das zuvor beschriebene Ziel der durchgängigen Integration betrifft dabei auch das Layer Information, beispielsweise müssen Sensor-Daten von den übergelagerten Informationssystemen auch korrekt interpretiert werden können (Beispiel: verschiedene Einheiten/Auflösungen/Genauigkeiten). Dies erfordert eine entsprechende semantische Beschreibung der verschiedenen Objekte. Daher gibt es auch einige Berührungspunkte mit den Layern „Asset“ (Semantische Beschreibung einer Anlage) und „Functional“ (Steuerung von Produktionsabläufen durch ein MES).

Bei der Einordnung in den „Life Cycle & Value Stream“ steht durch die gewählten Anwendungsfälle und Demonstrationsszenarien die „Production“ im Vordergrund. Durch die Selbstbeschreibung und Autokonfiguration von Anlagen existieren allerdings auch durchaus Anknüpfungspunkte im Bereich der Type und Instance Maintenance.

Durch den integrativen Ansatz und die organisations- und standortübergreifende Einbindung von Fertigungsanlagen in die Dienstplattform liegt der Schwerpunkt von CoCoS auf den Hierarchy Levels „Station“ bis „Connected World“. Auf dem Shop Floor, in den Leveln „Station“ und „Work Centers“ könnten noch unterschiedliche LAN-Kommunikationstechnologien eingesetzt werden. Oberhalb davon, also auf „Enterprise“ und „Connected World“-Level, werden hauptsächlich typische Internet-technologien und -dienste verwendet. Hier rückt dann das Thema Security in den Vordergrund, sobald verschiedene Standorte innerhalb eines Unternehmens oder gar verschiedene Unternehmen angebunden werden. Gleichzeitig nimmt das Thema Connectivity an Bedeutung ab, da nun ja die etablierten Internet-Standards genutzt werden. Darüber hinaus sind die verschiedenen Level ab der „Station“ aus Sicht der Dienstplattform und des Anwenders weitgehend transparent. Hier spielt der Cloud-basierte Ansatz seine Stärke aus: die Dienste können entweder als Micro-Service auf dem Shop-Floor oder als Cloud-Service im Data-Center laufen, dabei aber dieselben Schnittstellen nutzen.

3. Einordnung der CoCoS-Konzepte zur resilienten industriellen Kommunikation in die Industriale Internet Reference Architecture (IIRA 1.7)

Resilienz („Resilience“) wird in der Industrial Internet Reference Architecture als Schlüsselthema („Key System Concern“) identifiziert, d.h. der Widerstandsfähigkeit

- Die Anforderungen der Kommunikationspartner an das Netzwerk sind verschieden, z. B. bzgl. Übertragungsrates, Latenz und Zuverlässigkeit. Eine Verletzung der Anforderungen durch eine Störung wirkt sich hinsichtlich des Ausmaßes der negativen Folgen abhängig von der Anwendung aus. Es gibt entsprechend „wichtige“ und „weniger wichtige“ Kommunikationsbeziehungen.
 - Abhängig von diesen Prioritäten werden im Fall von Störungen, beispielsweise beim Ausfall einer Verbindung, die verbleibenden Übertragungskapazitäten im Rahmen der Selbstheilung der Vernetzungsplattform zunächst für die hochprioritären Kommunikationsbeziehungen vergeben.
 - Anforderungen, Kapazitäten und Eigenschaften aller Kommunikationsbeziehungen sind bekannt. Die Auswirkungen einer beliebigen Störung können daher vorab anhand eines virtuellen Abbilds der Vernetzungsplattform analysiert werden. Dabei wird auch deutlich, welche bzw. wie viele Elemente redundant ausgelegt werden müssen, um einen gewünschten Grad an Resilienz zu erreichen.
 - Die Vernetzungsplattform erlaubt eine strikte Trennung von Kommunikationsbeziehungen. Datenpakete einer Komponente werden nur bei entsprechender Authentifizierung und Berechtigung weitergeleitet. Unberechtigt eingeschleuste Datenpakete werden von der Vernetzungsplattform nicht weitergeleitet, sondern verworfen, so dass z. B. sogenannte Denial-of-Service-Angriffe wesentlich erschwert werden.
- zu reduzieren bzw. ganz zu vermeiden. Diese beiden Konzepte stehen dabei jedoch ausdrücklich nicht im Widerspruch.
- „Plan-and-Prepare“ wird in CoCoS durch die virtuelle Abbildung der Vernetzungsplattform ermöglicht und ist somit gut abgedeckt.
 - CoCoS sieht autonom agierende CPPS vor, dies wird beispielsweise durch automatische Konfiguration und Plug-and-Produce-Funktionen unterstützt. Auf Grund der Projektausrichtung wird ein ausschließlich autonomer Betrieb der Subsysteme jedoch nicht betrachtet, da CoCoS die vernetzte Produktion adressiert.
 - Die Validierung der Kommunikationsbeziehungen und der „Distrust-by-Default“-Ansatz der IIRA deckt sich sehr gut mit dem Security-by-Design-Ansatz der Vernetzungsplattform, wobei CoCoS hier etwas weitergeht und nicht validierte Kommunikation grundsätzlich isoliert.

4. Fazit

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die in CoCoS entwickelten Konzepte eine starke Ähnlichkeit zu den Resilienz-Empfehlungen der IIRA 1.7 aufweisen, die 18 Monate nach CoCoS-Projektstart veröffentlicht wurde. Allerdings werden dort bisher nur wenige konkrete Hinweise zur Architekturentwicklung gegeben. Andererseits wird das Thema Resilienz in der IIRA relativ prominent mit einem eigenen Kapitel bedacht, während die RAMI 4.0 zwar einige Resilienz-Ansätze anspricht (z. B. im Zusammenhang mit der Kapselung), jedoch nicht gebündelt darstellt. Zukünftig ist eine Weiterentwicklung der Resilienz-betrachtungen in der IIRA mit konkreten, strukturierten Architekturempfehlungen wünschenswert, z. B. ähnlich der Darstellung des Key System Concerns „Connectivity“. Im Vergleich zur IIRA liegen die Stärken des RAMI 4.0 derzeit in der kompakten Darstellung des Ordnungsschemas, so dass es sich als Kommunikationsinstrument der Architekturentwicklung anbietet, während die IIRA mit ihren detaillierten (aber stellenweise noch schwammigen) Empfehlungen eher einer abstrakten Entwurfsempfehlung gleicht.

Bei der Einordnung der Ansätze aus CoCoS in die IIRA-Empfehlungen werden sowohl wesentliche Überschneidungen als auch leichte Unterschiede deutlich:

- Die Empfehlung, dass ein System auch bei Netzunterbrechung funktionieren muss, entspricht sicherlich einer Idealvorstellung. Hier wäre zu hinterfragen, ob dies mit der Industrie-4.0-Vision vereinbar ist, in der Connectivity eine zentrale Rolle spielt. CoCoS verfolgt auf Grund der Projektausrichtung den Ansatz, Netzunterbrechungen mit Hilfe der Selbstheilung

Einsatz und Nutzen von Referenzarchitekturmodellen für die Softwarearchitektur von MANUSERV

Frank Heinze, Miro Tunk, André Hengstebeck, Jürgen Roßmann, Jochen Deuse, Bernd Kuhlenkötter, RIF Institut für Forschung und Transfer e. V.
ICARUS Consulting GmbH

Abstract

Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) und die Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) sind zwei aktuelle Standardisierungsansätze, deren thematischer Schwerpunkt auf der fortschreitenden Vernetzung betrieblicher Ressourcen liegt. RAMI 4.0 setzt auf vorhandene Normen aus dem Bereich Produktionstechnik, während IIRA auf die Vernetzung sämtlicher informationstechnischer Komponenten abzielt, sodass die Produktionstechnik hier nur einen Teilaspekt darstellt. Am Beispiel von MANUSERV wird gezeigt, dass RAMI 4.0 für industrielle Anwender eine wesentliche Unterstützung bei der Planung, Gestaltung sowie insbesondere der technischen Vernetzung von Produktionsanlagen darstellt. Als Ergänzung hierzu werden anschließend die Kernelemente des IIRA-Modells erläutert, dessen Stärken im direkten Vergleich insbesondere in der frühzeitigen Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, Bedienbarkeit und Sicherheit im Rahmen der Entwicklungsarbeiten liegen.

1. Einleitung

Derzeit zeichnen sich in zahlreichen produzierenden Branchen erste Entwicklungen in Richtung einer vierten industriellen Revolution (Industrie 4.0) ab, welche insbesondere durch eine zunehmende Vernetzung und Autonomie betrieblicher Ressourcen gekennzeichnet ist^{19,20}. Auf dem Shopfloor besteht ein möglicher Indikator für Industrie 4.0 in der fortschreitenden Integration IT-gestützter Methoden und Werkzeuge in industrielle Produktionsprozesse. In diesem komplexen und vielschichtigen Veränderungsprozess bieten Normen und Standards eine wesentliche Orientierungsgrundlage für industrielle Anwender und somit eine zentrale Möglichkeit, ein ganzheitliches und einheitliches Verständnis von Industrie 4.0 zu fördern.

Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)²¹ wurde innerhalb der Arbeitsgruppe „Referenzarchitekturen, Standards und Normung“ von der „Plattform Industrie 4.0“ im Hinblick auf die Bereiche Produktion und Automatisierung erstellt. Parallel hierzu wurde vom Industrial Internet Consortium (IIC) im Rahmen weiterer Standardisierungsarbeiten die Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) für das Internet der Dinge (Internet of Things) entwickelt. Dieses setzt einen Schwerpunkt auf den Bereich der Informationstechnologie und beschreibt die Vernetzung sämtlicher eindeutig adressierbarer Komponenten (Industrial Internet Systems).

Vor diesem Hintergrund wird im Folgenden untersucht, welchen konkreten Nutzen die Referenzarchitekturmodelle für das Forschungsprojekt MANUSERV²² haben können. Hierfür wird das Forschungsprojekt zunächst inklusive der jeweiligen Softwarestrukturen kurz vorgestellt. Anschließend erfolgt eine Einordnung der Systemstrukturen von MANUSERV in RAMI 4.0 und IIRA sowie eine entsprechende Nutzenbewertung.

2. Zielsetzung des Projektes MANUSERV

Produktionsprozesse im Kontext Industrie 4.0 sind u. a. gekennzeichnet durch eine zunehmende sozio-technische Interaktion²³. Auf dieser Grundlage bietet sich für industrielle Anwender die Möglichkeit, Robotersysteme in manuelle Arbeitsplätze zu integrieren und somit im Rahmen eines hybriden Arbeitssystems die Vorteile des Menschen mit denen von Robotersystemen zu kombinieren und somit deutliche Synergien zu erzielen. Hierbei können insbesondere Ansätze aus dem Bereich der Servicerobotik eine zentrale Bedeutung erlangen, was z. B. im Rahmen des Forschungsprojektes DESIRE²⁴ herausgestellt werden

19 BTV 2014
20 KWH 2013

21 RAMI 2015
22 DRK 2014
23 HKW 2014
24 PPM 2008

konnte. Trotz großer Ambitionen und Fortschritte im Bereich der Forschung bestehen bisher allerdings nur wenige industrielle Einsatzfelder für die Servicerobotik. Bestehende Hindernisse sind der derzeit noch hohe Aufwand für die Auswahl und Implementierung servicerobotischer Systeme sowie die Unsicherheit bezüglich der voraussichtlichen Rentabilität. Das Ziel des Projektes MANUSERV besteht daher in der Entwicklung eines Planungs- und Entscheidungsunterstützungswerkzeugs, das praktische Anwender bei diesen Fragestellungen unterstützt und Informationen zu konkreten technischen Gestaltungsoptionen geben soll. Die Entwicklung und Validierung der entsprechenden Gesamtsystematik erfolgt hierbei in enger Kooperation mit zahlreichen industriellen Anwendungspartnern, welche ein breites Spektrum manueller Arbeitsprozesse repräsentieren, angefangen von manuellen Montageprozessen bei der Firma Albrecht JUNG GmbH & Co KG über landwirtschaftliche Tätigkeiten bei der GEA Farm Technologies GmbH bis zu Rüstprozessen bei der KHS Corpoplast GmbH.

3. Systemstruktur von MANUSERV

Das grundsätzliche Systemkonzept von MANUSERV orientiert sich stark am industriellen Anwender und ist in Abbildung 8 ganzheitlich dargestellt. Hierbei können Anwender die zu bewertenden manuellen Prozesse zunächst anhand einer formalen Beschreibungslogik, welche u. a. auf Methoden aus dem Bereich der Systeme vorbestimmter Zeiten²⁵ basiert, modellieren und anschließend über das Internetportal „Servicerobotik“ in eine Datenbank einspeisen.

Für die Planung und Gestaltung möglicher Automatisierungslösungen sind neben den Eingangsdaten der manuellen Arbeitsprozesse ebenfalls technische Informationen zu potenziell implementierbaren, servicerobotischen Systemen erforderlich. Die dazu notwendigen Basisinformationen können durch Hersteller entsprechender

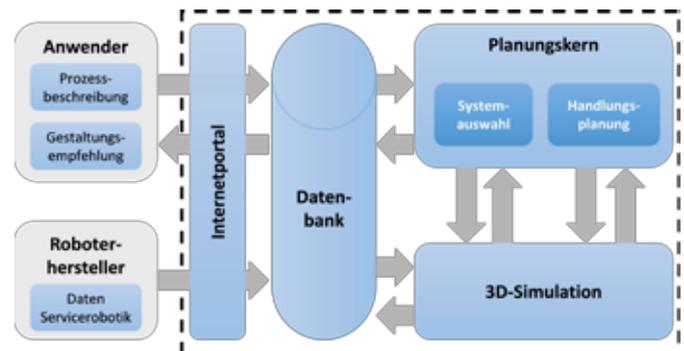


Abb. 8: Systemstruktur von MANUSERV

Servicerobotik ebenfalls anhand des Internetportals in einer Datenbank hinterlegt werden, so dass in Summe eine umfassende Datengrundlage für die Bewertung der Automatisierungseignung vorhanden ist.

Hiervon ausgehend werden die Informationen über den Untersuchungsbereich sowie mögliche Lösungskomponenten von einem Planungssystem im Rahmen eines zweistufigen Verfahrens ausgewertet. Dabei werden im ersten Schritt mögliche Robotersysteme identifiziert, die für eine (Teil-) Automatisierung des manuellen Prozesses geeignet sind. Anschließend wird für diese Robotersysteme in einem zweiten Schritt ein konkreter Handlungsablauf als Mensch-Maschine-Interaktion erstellt. Diese Handlungsfolge wird dann in einem Simulationssystem für den konkreten Prozess verifiziert und in diesem Zuge technisch bewertet. Zudem besteht die Möglichkeit, ausgewählte hybride Szenarien auf ein prototypisches Robotersystem zu übertragen und somit eine umfassende Umsetzungsunterstützung für den industriellen Anwender bereitzustellen²⁶. In Summe wird durch die aktuellen Forschungsarbeiten somit eine wesentliche Grundlage geschaffen, um den Austausch industrieller Anwender mit den Herstellern servicerobotischer Systeme zu verbessern und den Transfer innovativer Servicerobotik in die Praxis zu erleichtern.

4. Einordnung von MANUSERV in RAMI 4.0

Im Kontext von RAMI 4.0 werden datenorientierte Schichten (Layers), der Produktlebenszyklus inklusive der entsprechenden Wertschöpfungsketten (Life Cycle & Value Stream) sowie funktionale Hierarchieebenen (Hierarchy Level) berücksichtigt und zu einem ganzheitlichen dreidimensionalen Architekturmodell mit drei entsprechenden Koordinatenachsen vereint.

Die Grundidee des Schichtenmodells (Layers) besteht darin, die Funktionsweise von Prozessen zu erfassen und anhand formeller Schichten zu klassifizieren, welche jeweils nur über die direkt benachbarten Ebenen verbunden sind und kommunizieren können. Abbildung 9 zeigt die Einordnung von MANUSERV innerhalb dieses Schichtenmodells. Den Ausgangspunkt für die Automatisierungsanalyse im Kontext von MANUSERV ist der reale

Arbeitsplatz, der sich im Schichtenmodell auf der untersten Ebene (Gegenstandsschicht) befindet. Die anschließende Beschreibung der manuellen Arbeitsprozesse und des Arbeitsplatzes erfolgt mittels einer formellen Methodik, so dass die generierten Eingangsdaten eine möglichst hohe Kompatibilität mit dem nachgelagerten Planungssystem aufweisen. Dementsprechend ist diese Modellierungsaufgabe in RAMI 4.0 der Integrationsschicht zuzuordnen. Auf dieser Grundlage können die Eingangsdaten anhand eines Webportals digital übertragen werden, so dass dieses der Kommunikationsschicht zugeordnet werden kann. Die weitergeleiteten Eingangsdaten werden vor der planungstechnischen Weiterverarbeitung zunächst in einer zentralen Datenbank abgelegt, welche somit die Aufgaben der Informationsschicht abbildet. Die Datenauswertung anhand des Planungs- und Simulationssystems umfasst Aspekte aus den Bereichen der Informations- und Funktionsschicht. Bei den informationsbezogenen

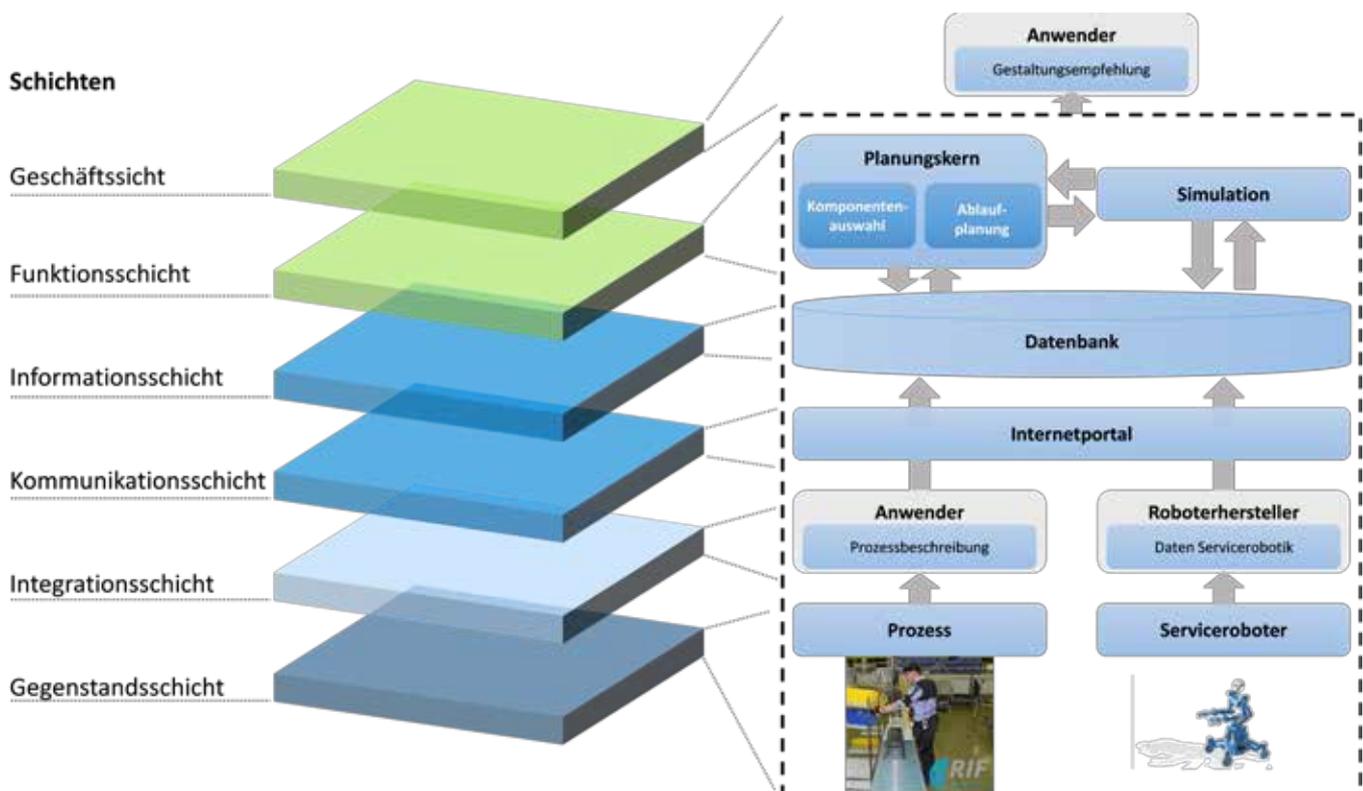


Abb. 9: Einordnung des MANUSERV-Konzepts in das Schichtenmodell von RAMI 4.0

Aufgaben des Planungssystems handelt es sich vor allem um die formale Beschreibung und Ausführung von ereignisbezogenen Regeln. Die Funktionsschicht wird insbesondere durch die gezielte Verarbeitung der Daten im Kontext der Planung und Simulation repräsentiert. Da dieser Aspekt die Kerninhalte des Planungssystems widerspiegelt, wird der Aufgabenbereich im Zuge einer einheitlichen Strukturierung ausschließlich der Funktionsschicht zugeordnet. Die Weitergabe möglicher Gestaltungsempfehlungen und Simulationsdaten an den industriellen Endkunden sowie die hiermit verbundene Umsetzungentscheidung lassen sich der Geschäftssicht zuordnen.

Die Achse Produktlebenszyklus und Wertschöpfungskette (Life Cycle & Value Stream) basiert auf der IEC 62890 zum Life-Cycle-Management und stellt den Lebenszyklus von Anlagen und Produkten dar. Das zentrale Klassifikationsmerkmal besteht hierbei in der Unterscheidung von Typ und Instanz, wobei ein Typ die Entwicklung einer Anlage oder eines Produkts von der Idee bis zum Prototypenbau umfasst, aus dem dann beispielsweise im Rahmen einer anschließenden Serienfertigung einzelne Instanzen erzeugt werden. Die MANUSERV-Gesamtsystematik richtet sich vor allem an industrielle Anwender, die ihre bestehenden manuellen Arbeitsplätze hinsichtlich der möglichen Automatisierungseignung bewerten möchten. Dementsprechend bilden Instanzen eines Arbeitssystems hier den Ausgangspunkt aller weiteren Planungsschritte. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dass sich das zu entwickelnde Gesamtkonzept im Rahmen der zukünftigen industriellen Anwendung auch auf die Planung von Arbeitsplatzkonzepten übertragen lässt. In diesem Fall stellen die der Planung zugrundeliegenden Eingangsdaten Typen des späteren Arbeitsplatzes dar.

Die Hierarchieebenen (Hierarchy Level) der dritten Achse sind angelehnt an die Hierarchiestufen der IEC 62264 und IEC 61512 und differenzieren die Ebenen der Feldgeräte (Field Device), Steuerungen (Control Device), Stationen (Station), Teilanlagen (Work Centers) und Unternehmen (Enterprises). Sie erweitern diese Struktur unterhalb der

Feldgeräteebene um das zugrundeliegende Werkstück (Product) sowie oberhalb des Unternehmens um die verbundene Welt (Connected World). Im Projekt MANUSERV sind die betrachteten manuellen Arbeitsprozesse im Wesentlichen auf der Ebene der Stationen einzuordnen. Sollten als Ergebnis eines konkreten Planungsfalls Service-roboter in einen manuellen Arbeitsprozess integriert werden, so sind diese auf der Steuerungsebene bzw. im Falle von Sensorik-Applikationen auf der Ebene der Feldgeräte einzuordnen.

Der Ansatz von RAMI 4.0 ist insgesamt stark technikorientiert und in der bisherigen Spezifikation relativ abstrakt gehalten, so dass eine Einordnung von MANUSERV aufwandsarm möglich ist, wobei aber über die generellen Strukturempfehlungen hinaus keine weitergehenden Entwicklungsaspekte adressiert werden.

5. Einordnung von MANUSERV in IIRA

Die kurz nach RAMI 4.0 im Juni 2015 veröffentlichte IIRA setzt stärker auf der informationstechnischen Sicht auf, indem die Interessen der unterschiedlichen Akteure (Stakeholder) zu verschiedenen Sichten (Viewpoints) zusammengefasst werden. Dabei werden die Geschäftssicht (Business Viewpoint), die Anwendungssicht (Usage Viewpoint), Funktionssicht (Functional Viewpoint) und Umsetzungssicht (Implementation Viewpoint) unterschieden. Über die Sichten hinaus werden anhand von IIRA Kernfunktionalitäten (Key System Characteristics) herausgestellt. Zentral sind dabei die Sicherheitsaspekte Gefährlosigkeit (Safety), Sicherheit (Security) und Resilienz (Resilience).

MANUSERV stellt mit dem Internetportal „Servicerobotik“ ein Industrial Internet System bereit, so dass das Projekt unter den verschiedenen Sichten des IIRA untersucht werden kann. Aus der Geschäftssicht betrachtet besteht eine zentrale Frage in der Gestaltung eines erfolgreichen Geschäftsmodells. Aus Anwendungssicht ist zu klären, wie der Zugriff auf das Internetportal gehandhabt wird und

welche Bedienfunktionalitäten das System beinhalten sollte. Dieser Aspekt ist von hoher Bedeutung, weil schlecht bedienbare Systeme in der Regel nur eine geringe Akzeptanz bei potenziellen Anwendern erreichen. Aus der Umsetzungssicht wird betrachtet, welche Komponenten und Technologien zur technischen Implementierung des MANUSERV-Konzeptes eingesetzt werden. In Summe ist die Berücksichtigung der verschiedenen Sichten im Kontext von IIRA somit ein zielführendes Werkzeug, um sicherzustellen, dass kein erfolgskritischer Entwicklungsaspekt bei der Ausgestaltung eines IIS vernachlässigt wird, wobei hier insbesondere die Wirtschaftlichkeit und Nutzerfreundlichkeit hervorzuheben sind.

Für die Datenhaltung und den Zugriff auf das Internetportal von MANUSERV spielen von den Sicherheitsaspekten von IIRA insbesondere Security-by-Design²⁷ und Resilienz eine herausragende Rolle, so dass diese sehr früh im Designprozess berücksichtigt wurden. In Bezug auf Security-by-Design wurde das technische Gesamtkonzept im Kontext von MANUSERV in mehrere logische Einheiten aufgeteilt, die ein zusammenhängendes Ökosystem bilden und deren Kommunikation untereinander jeweils ausschließlich über eine HTTP RESTful Architektur stattfindet. Dieser Ansatz fördert die einfache Trennung der verschiedenen Datenbereiche und erleichtert die Entwicklung, Verifikation und Wartung. Zudem implementiert das in MANUSERV verwendete Authentifizierungsverfahren den heutigen Standard OAuth2 als Authentifizierungsmechanismus, der eine verbesserte Überwachung und Sicherheit der anwenderseitigen Zugangs- und Kontaktdaten ermöglicht. Dafür werden die entsprechenden Daten zunächst durch eine vertrauenswürdige Authentifizierungsstelle geprüft. Auf dieser Grundlage können den jeweiligen Ressourcen-Einheiten im System anschließend Zugriffsberechtigungen bedarfs- und befugnisgerecht erteilt werden – allerdings ohne die Weitergabe von Passwörtern oder personenbezogenen Daten, die keinen direkten Anwendungsbezug aufweisen. Die Übertragung

zwischen den Einheiten erfolgt dabei ausschließlich über einen sicheren SSL-Transportweg. Zudem sind die Zugriffe verschlüsselt, wobei die notwendigen Schlüssel den Einheiten nur lokal bekannt sind und niemals übertragen werden. Der proprietäre Authentifizierungsserver von MANUSERV kann bei Bedarf durch einen spezialisierten Anbieter ausgetauscht werden, um die Datensicherheit weiter zu erhöhen.

Zur Absicherung einer hohen Resilienz sind die Einheiten in weiten Teilen autark lauffähig und speichern bei Bedarf ihre Betriebsdaten auch in getrennten Datentöpfen. So kann zum Beispiel die öffentliche Applikation für einen Komponentenupload, einmal authentifiziert, vom Benutzer bis zum zeitlichen Ablauf seines Zugriffs weiter verwendet werden – auch wenn der Authentifizierungsserver temporär nicht erreichbar sein sollte.

6. Erfahrungen und Zusammenfassung

Zusammenfassend zeigt die Analyse für RAMI 4.0, dass das dreidimensionale Modell eine sinnvolle Orientierungsgrundlage für Entwickler und industrielle Anwender darstellt. Dieser Aspekt konnte insbesondere am Beispiel von MANUSERV verdeutlicht werden, indem die Systemstruktur aufwandsarm auf das Schichtenmodell von RAMI 4.0 abgebildet wurde und auch die Dimensionen „Produktlebenszyklus und Wertschöpfungskette“ sowie „Hierarchieebenen“ sinnvoll ausgeprägt werden konnten. Im Zuge der Zuordnung wurde herausgestellt, dass die Funktionsschicht mit der Simulation und dem Planungssystem einen großen Anteil der MANUSERV-Gesamtsystematik umfasst, wodurch die Funktionsschicht im Vergleich mit den übrigen Schichten wesentlich umfangreicher ausfällt. Dementsprechend könnte zukünftig überprüft werden, ob alternativ eine inhaltliche Untergliederung der Funktionsschicht in zwei Schichten sinnvoll erscheint. Zudem weist der Ansatz von RAMI 4.0 einen starken Technikbezug auf, während andere zentrale Fragestellungen (z. B. Geschäftsmodelle) eher ausgeblendet werden. Daher stellt der aktuell noch recht abstrakt gefasste Rahmen

von RAMI 4.0 derzeit nur eine partielle Unterstützung für konkrete Entwicklungsprojekte dar. Komplementär hierzu liegt ein zentraler Schwerpunkt von IIRA auf der Informationstechnologie. Die Stärke von IIRA liegt dabei in der umfassenden Berücksichtigung informationstechnischer Sicherheitsaspekte, die zur Überprüfung und Absicherung konkreter Softwaresysteme geeignet sind. Neben diesen technischen Aspekten gewährleistet die Beachtung der unterschiedlichen Sichten zudem eine frühzeitige Auseinandersetzung des Entwicklers bzw. Anwenders mit weiteren zentralen Fragestellungen, wie z. B. der Geschäftsmodellentwicklung und einer hinreichenden Benutzerfreundlichkeit. In Summe können somit sowohl RAMI 4.0 als auch IIRA von industriellen Entwicklern und Anwendern als effektive Werkzeuge genutzt werden, um die im Kontext von Industrie 4.0 entstehenden, heterogenen Veränderungsprozesse einheitlich abbilden zu können.

Assembly Instructions as a Service (AlaaS) als Komponente der RAMI-4.0-Referenzarchitektur

Romina Kettner, Thomas Kosch, Markus Funk, Albrecht Schmidt, Universität Stuttgart

1. Einleitung

Durch die zunehmende Variantenvielfalt und die hohen Lagerkosten erleben wir eine Veränderung in den Produktionsstätten und deren manuellen Montagearbeitsplätzen. Die Unternehmen gehen dazu über, immer mehr Produkte „on demand“ herzustellen. Dies führt dazu, dass kaum ein produziertes Teil zweimal nacheinander produziert wird (Losgröße 1). Der daraus resultierende kognitive Mehraufwand für Montagearbeiter ist ein zentrales Problem, welches sich in Produktionsstätten abzeichnet und bald allgegenwärtig sein wird. Andererseits können durch Industrie 4.0 manuelle Montagearbeitsplätze durch Vernetzung intelligent gemacht werden. Ein zentraler Aspekt dieser Intelligenz ist die Bereitstellung von Montageanleitungen. Diese können kontext-sensitiv auf den jeweiligen Arbeitsvorgang reagieren, direkt im Sichtfeld des/der ArbeiterIn zur Verfügung gestellt werden, und auf die Vorlieben und Fähigkeiten des/der NutzerIn angepasst werden.

Das Projekt motionEAP²⁸ verfolgt das Ziel, eine projektionsbasierte Mensch-Maschine Schnittstelle zur Bereitstellung von AlaaS zu bieten und entsprechende Anwendungsszenarien zu evaluieren. Basierend auf der Kombination von Bewegungserkennung mittels einer hochauflösenden Kamera und dem Einsatz von adaptiven Feedbackvarianten mittels eines Projektors können Szenarien, in denen ArbeiterInnen Hilfe benötigen, erkannt und benutzerspezifisch mit projiziertem Feedback unterstützt werden. AlaaS hat momentan drei Einsatzszenarien: Unterstützung bei Bedarf im Fehlerfall, Bereitstellung von Montageanleitungen für unerfahrene ArbeiterInnen und kontinuierliche Unterstützung von Menschen mit kognitiven Behinderungen. Dabei sind vielfältige weitere Anwendungsfälle, wie beispielsweise der Einsatz in der Qualitätssicherung denkbar.

Konkret wird im Projekt motionEAP ein Szenario betrachtet, in dem der/die MitarbeiterIn ein komplexes Produkt



Abb. 10: Ein Arbeitsplatz benutzt AlaaS um projiziertes Montagefeedback zur Werkerassistenz einzublenden

an seinem/ihrer Arbeitsplatz korrekt zusammenzubauen muss, wozu er/sie Einzelbauteile aus verschiedenen Kleinteil-Ladungsträgern benötigt. Mittels AlaaS werden dem/der MitarbeiterIn Montageanleitungen in Form von Projektionen auf der Arbeitsfläche angezeigt (siehe Abb. 10). Über diese Hilfestellung während des Montageprozesses hinaus, bekommt der/die MitarbeiterIn Feedback bezüglich der korrekt oder fehlerhaft verbauten Montageteile. Entnimmt der/die NutzerIn ein falsches Einzelteil aus dem Kleinteil-Ladungsträger, wird anstelle des grünen ein rotes Licht auf die Box projiziert. Nach demselben Prinzip erfolgt das Feedback bezüglich der korrekten Montage auf dem Werkstückträger im Montagebereich. Eine der Besonderheiten der AlaaS-Technologie ist die präzise Lokalisierung des zu verbauenden Montageteils, wie beispielsweise die Erkennung einer fehlenden Schraubenunterlegscheibe. Durch den Einsatz einer Tiefenerkennungskamera ist das System in der Lage, innerhalb kürzester Zeit auf Fehler in Auswahl oder Montage von Bauteilen zu reagieren und kontextbewusstes Feedback zu geben. Erste Evaluationen im Feld sowie im Labor belegen, dass sich

motionEAP gut zur Feedbackgabe eignet.²⁹ So konnten auch Weiterentwicklungen von motionEAP in Form einer Montagezelle bereits erprobt werden (siehe Abbildung 2). Insbesondere in Studien mit Menschen mit kognitiven Einschränkungen konnten hervorragende Ergebnisse bezüglich der positiven Wirksamkeit des Assistenzsystems erzielt werden.³⁰

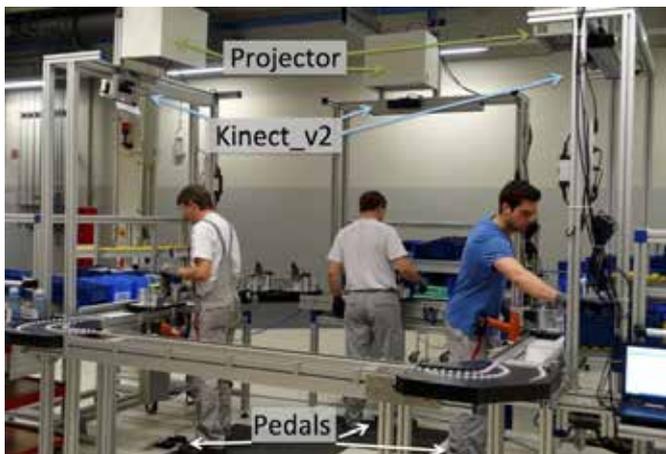


Abb. 11: Nutzung der Montagezelle bei der Firma Audi während einer Langzeitstudie

2. Einordnung von AlaaS in die RAMI 4.0 Referenzarchitektur

Im Folgenden ordnen wir AlaaS in die Dimensionen der RAMI 4.0 Architektur ein. In der Achse Hierarchy Levels sehen wir AlaaS als direkten Bestandteil der Station und des Work Centers. Das Architekturmodell, welches RAMI 4.0 zugrunde liegt kann zur Klassifizierung der motionEAP spezifischen Technologie gut eingesetzt werden. Das AlaaS lässt sich im Bereich des Work Centers und der Station positionieren, welches anhand der Funktionalität des Assistenzsystems innerhalb einer Produktionsanlage abgeleitet wird. Da wir arbeitsplatzspezifisches Feedback als Service anbieten wollen, wirkt sich dieser unmittelbar auf die Stations-Ebene aus. Weiterhin können Anleitungen auch arbeitsplatzübergreifend und vernetzt angezeigt werden, was eine Eingliederung in die Ebene „Work

Center“ befürworten würde. Bezüglich der Achse Layers ordnen wir AlaaS als Teil der funktionalen Schicht ein, welches die Services der darunterliegenden Schichten benutzt. In der Achse Life Cycle & Value Stream sehen wir AlaaS in den Punkten Production und Maintenance/usage, da AlaaS sowohl montageunterstützend, als auch wartungsunterstützend eingesetzt werden kann.

Wir sind der Überzeugung, dass die Integration des AlaaS Konzepts in die RAMI 4.0 Referenzarchitektur die Weichen für eine kognitive Entlastung der ArbeiterInnen am Arbeitsplatz der Zukunft bieten kann. AlaaS bietet neben dem Potenzial, NutzerInnen im Fehler- oder Bedarfsfall kognitiv zu entlasten die Möglichkeit Menschen mit kognitiven Behinderungen nachhaltig in das Arbeitsleben einzugliedern.

3. Verwertung und Nutzen von Referenzarchitekturmodellen

In der Vergangenheit wurden im Rahmen der Entwicklung von AlaaS keine Referenzarchitekturmodelle eingesetzt. Die weder aktive, noch passive Verwendung solcher Modelle ist im Wesentlichen in der fehlenden Verfügbarkeit oder auch in der mangelnden Präsenz begründet. Zudem sind verfügbare Modelle häufig sehr abstrahiert und lassen sich mitunter nur schwierig auf die beabsichtigten Anwendungskontexte übertragen. Wir hoffen jedoch durch RAMI 4.0 auf eine Reduktion dieser Missstände und auf die Entwicklung eines Referenzarchitekturmodell, welches einen geeigneten Gestaltungs- und Klassifikationsraum bietet.

Allgemein könnte RAMI 4.0 als ein Kommunikationswerkzeug dienen, welches insbesondere in Hinblick auf die Kommunikation mit Industriepartnern helfen könnte. Als ein mögliches Anwendungsszenario ließe sich beispielsweise der sehr anschauliche RAMI-4.0-Würfel betrachten, um auf Basis der verschiedenen Achsen „Hierarchy Levels“, „Life Cycle & Value Stream“ sowie „Layers“ dem Partner die Einordnung des eigenen Projekts visuell leichter

²⁹ Funk et al. 2015 I

³⁰ Funk et al. 2015 II

verständlich zu machen. Möglicherweise könnte RAMI 4.0 somit eine Art „common ground“ zu der interessensübergreifenden Verständigung bieten. Insbesondere auch aus Sicht der Projektverwerter ist eine klare und transparente Positionierung eines Produkts, sei es eine Software oder ein gesamtes Assistenzsystem, überaus wertvoll, da sich hier die Geschäftsbereiche und firmeninterne Gewerke leicht hinzufügen lassen. Somit könnten potenzielle Missverständnisse innerhalb eines Projekts zwischen den Gruppen Forschungspartner, Industriepartner und Verwerter vorab mit Hilfe von Referenzarchitekturmodellen minimiert werden.

Ein weiteres Anwendungsszenario, welches sich im wissenschaftlichen Kontext als nützlich erweisen und die Etablierung von Referenzarchitekturmodellen in der Praxis voran treiben könnte, wäre beispielsweise die Implementierung des RAMI-4.0-Würfels in Form eines Klassifizierungstools. Denkbar wäre, dass sich einzelne Kennwerte, wie beispielsweise eine kurze Funktionalitätsbeschreibung des Projektprodukts innerhalb des Nutzungskontext, flexibel vom Nutzer befüllen lassen. Der Nutzer würde demnach entweder ein Projektbeteiligter sein, um die Position des Produkts im Kontext bewerten zu können, oder vielmehr ein Anwender, der auf rein informativer Ebene ein Projektprodukt explorieren und möglicherweise vergleichen möchte. Im Anschluss könnte eine automatisierte Klassifizierung auf Basis der gesetzten Kennwerte erfolgen, welche einfach verständlich in Form des Würfels visualisiert wird. Um einen weiteren Nutzen hinzuzufügen, könnte man darüber nachdenken, weitere Projekte in dem generierten Würfel anzeigen zu lassen. Dies würde den Vorteil einer Vergleichbarkeit bieten und im Sinne der interdisziplinären Vernetzung die Möglichkeit zu einem übergreifenden wissenschaftlichen Austausch geben.

Ob sich Referenzarchitekturmodelle als eine Hilfestellung bezüglich der Entwicklung spezifischer projektorientierter Architekturmodelle nutzen lässt, lässt sich nur schwierig pauschal beantworten. Im Allgemeinen bieten sich unserer Auffassung nach Referenzarchitekturen als Muster

für die zu modellierenden konkreten Architekturen an. Bei der Spezifikation von Systemen hat die Erfahrung gezeigt, dass standardisierte Referenzarchitekturmodelle oft als Grundlage hinzugezogen werden, um ein Grundgerüst für die zu entstehende Software zu erstellen. In der Praxis werden oftmals die Modelle, die aus den Referenzarchitekturen heraus gebildet werden, während des Softwareentwicklungszyklus hinweg modifiziert und weiterentwickelt, um auf Anforderungen flexibel reagieren zu können. Insgesamt bieten Referenzarchitekturen demnach eine Hilfe für die initiale Modellierung von Architekturen. Jedoch werden sie über den Evolutions- oder Releaseprozess hinweg häufig an die Bedürfnisse der Kunden und Entwickler angepasst und verlieren damit insbesondere gegen Ende der Projektphase an Wert.

4. Resilienz und „Security-by-Design“

Durch die Modellierung von Software mit standardisierten Referenzarchitekturen, können Softwaremodule einfacher erweitert und gewartet werden. Dies ist unserer Auffassung nach im Bereich der Resilienz gut möglich. Denn aufgrund der Gliederung der Software in einzelne Komponenten, können instabile und fehlerhafte Module identifiziert werden. Demnach können Referenzarchitekturmodelle zu einer Steigerung der Resilienz beitragen.

Bezüglich der Bedeutung von RAMI 4.0 und IIRA für das „Security-by-Design“-Prinzip können aus unserer Sicht zwar standardisierte Sicherheitsmechanismen genutzt werden, wie beispielsweise Hashing oder die Kommunikation mittels Verschlüsselung, allerdings sind die Sicherheitsparadigmen meist von kurzer Lebensdauer, wie sich aufgrund der Erfahrung zeigt. Designkonzepte werden im Zuge wachsender, technologischer Fortschritte über Zeit anfällig für neue Mechanismen, die Sicherheitsfeatures umgehen oder aushebeln können. Demnach bietet ein Referenzarchitekturmodell nur bedingt Schutz durch „Security-by-Design“. Zusätzlich gestaltet sich die Erfüllung dieses Anspruchs schwierig, wenn die Referenzarchitektur ständig an neue Sicherheitsstandards angepasst

werden muss, um einen gewissen Standard an Aktualität zu gewährleisten.

Somit lässt sich aus unserer Sicht resümieren, dass ein Referenzarchitekturmodell in Hinblick auf die Resilienz effektiv genutzt werden kann, aber gegenüber einer Sicherheitsstandardisierung einen erhöhten Aufwand erfordert. Dies würde in die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Anpassung an die zu entstehende oder bereits existierende Software resultieren, was insbesondere die Arbeitslast für ein Produkt, welches in einem Forschungskontext entstanden ist, übersteigen würde.

5. Perspektiven und langfristige Chancen für Referenzarchitekturmodelle

Aus der Erfahrung, die wir aus dem Projekt motionEAP gewinnen konnten, lässt sich schließen, dass es sich bei dem RAMI 4.0 um ein solides Referenzarchitekturmodell handelt. Nach unserer Einschätzung fehlt es RAMI 4.0 jedoch derzeit noch an einem klaren Bezug zu real-existierenden Projekten. Die einzelnen Achsen lassen sich zum Teil auf vielfältige Weise verstehen und bieten daher einen großen Interpretationsspielraum, was durchaus als ein Vorteil zu verstehen ist. Der Nachteil dieser allgemein

gewählten Dimensionen ist jedoch, dass gemäß unserer subjektiven Erfahrung eine eindeutige Einordnung von Projekten schwer fällt. Diese Schwierigkeit nimmt noch weiter zu, wenn es sich dabei um unterschiedliche Projekte handelt oder solche, die vielfältige Anwendungsszenarien unterstützen. Als einen möglichen Lösungsansatz schlagen wir die Bereitstellung einzelner, ausgewählter Beispiele vor. Diese können künstlich konstruierte Projekte sein, aber auch reale Projekte. Eine überaus große Optimierung des Referenzarchitekturmodells RAMI 4.0 wäre demnach nicht nur ein Beispiel zur Positionierung, sondern ebenfalls die Präsentation einer Kurzbeschreibung zu den einzelnen Achsen, die sich wiederum ebenfalls auf konkrete Beispiele bezieht.

Zudem wäre in Anlehnung an unsere Vorschläge bezüglich des insbesondere wissenschaftlichen Nutzens, eine interaktive Web-Anwendung sicherlich eine große Weiterentwicklung der RAMI 4.0. Aus unserer Sicht könnte die Bereitstellung einer solchen Anwendung nicht nur die Verfügbarkeit für alle Interessenten sicherstellen, sondern würde ebenfalls zu mehr Sichtbarkeit und damit einer größeren Transparenz in der Verwendung des Referenzarchitekturmodells RAMI 4.0 führen.

Verortung von Assistenz- und Wissensdiensten im Industrie 4.0 Referenzmodell RAMI 4.0

Carsten Ullrich, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI GmbH)

Zusammenfassung

Dieser Beitrag untersucht, wie sich Assistenz- und Wissensdienste auf das Referenzmodell RAMI 4.0 abbilden lassen. Dies geschieht geleitet durch die Ergebnisse des Verbundprojektes APPSist, in dem eine neue Generation mobiler, kontextsensitiver und intelligent-adaptiver Assistenzsysteme zur Wissens- und Handlungsunterstützung für die Industrie 4.0 entwickelt wurde. Es werden die drei unterschiedlichen APPSist-Pilotszenarien hinsichtlich ihrer Verortung in RAMI 4.0 untersucht und der Versuch unternommen, daraus allgemeine Erkenntnisse zu Assistenz- und Wissensdiensten in RAMI 4.0 abzuleiten.

1. Einführung

Ein Effekt der Transformation zur Industrie 4.0 ist ein stetiger Anstieg der Komplexität sowohl in der Bedienung sowie Instandhaltung von Anlagen als auch in der Steuerung der Produktionsabläufe. Der damit einhergehende Rückgang von Produktionsmitarbeitern bei gleichzeitiger Zunahme der Komplexität der Arbeitsprozesse, lässt den Informationsbedarf sowie die notwendige berufliche Expertise rasant und im großen Umfang wachsen. Intelligent-adaptive Assistenz- und Wissensdienste bieten hier Abhilfe durch die Vermittlung von formellem und informellem Wissen und Know-how, angepasst auf Expertise-niveaus und fachliche Aufgaben der Mitarbeiter.

Dieser Beitrag untersucht, wie sich Assistenz- und Wissensdienste auf das Referenzmodell RAMI 4.0³¹ abbilden lassen. Dies geschieht geleitet durch die Ergebnisse des Verbundprojektes APPSist.³² In APPSist werden KI-basierte Wissens- und Assistenzsysteme entwickelt, die die Mitarbeiter in der Interaktion mit der Maschine oder Anlage unterstützen, sowie Dienste zum Wissens- und Kompetenzerwerb, die ebenso KI-basiert die Weiterentwicklung des Mitarbeiters zum Ziel haben.

Ein wesentliches Ziel von APPSist ist die Entwicklung von allgemein anwendbaren Diensten. Es sollte kein System entwickelt werden, welches nur in einer Zielumgebung, z. B. Inbetriebnahme einer Fräsmaschine, anwendbar ist. Anstelle dessen sind die Dienste domänenunabhängig und können auf neue Anwendungsgebiete erweitert werden und vorhandene Industriesysteme ergänzen. Die Erweiterung erfordert, dass vorhandene Arbeitsprozesse, sowie die Produktionsgegenstände und Organisationseinheiten, die für den aktuellen Arbeitskontext des Mitarbeiters und seine berufliche Entwicklungsperspektive relevant sind, formal beschrieben werden (in BPMN bzw. RDF/OWL). Vorhandene Maschinen und Inhaltsquellen werden dem APPSist-System durch Adapter verfügbar gemacht.

Im Folgenden werden die drei APPSist-Pilotszenarien beschrieben und in RAMI 4.0 verortet, um dann daraus allgemeine Erkenntnisse zu Assistenz- und Wissensdiensten (AWD) abzuleiten.

2. Beschreibung der Pilotszenarien

Um die Entwicklung einer allgemeinen Architektur für AWD zu ermöglichen, wurden bei den APPSist Anwendungspartnern (ein Klein- und ein mittelständisches Unternehmen sowie ein Großunternehmen) Pilotszenarien identifiziert, die jeweils auf unterschiedliche Einsatzgebiete und somit unterschiedliche notwendige Unterstützung von Mitarbeitern fokussieren.

Das Kleinunternehmen (im Folgenden abgekürzt mit U1) ist geprägt durch kundenspezifische Produktion und entwickelt komplexe Werkzeuge und Vorrichtungen für die Automobil- und Automobilzulieferindustrie. Das Pilotszenario fokussiert auf die Unterstützung der betriebseigenen Fachkräfte im Werkzeugbau, insbesondere die Inbetriebnahme von Anlagen (hier eine Fräsmaschine). Bezogen auf die RAMI-4.0-Ebene „Lebenszyklus und Wertschöpfungskette“ steht „Development“ und „Maintenance/Usage“ des Typs im Vordergrund, da Werkzeuge entwickelt werden, die an Anlagenbauer ausgeliefert und

31 Adolphs et al. 2015

32 Ullrich et al. 2015

dort als Teil einer Produktionsanlage eingesetzt werden.

Das mittelständische Unternehmen (U2) ist ein Anlagenbauer für Schweiß- und Montageanlagen der Automobilindustrie und entwickelt kundenspezifische Anlagen. Das Pilotszenario widmet sich der Fehlerinterpretation und -behebung in erstellten Anlagen, die an die Kunden ausgeliefert werden. Der gesamte Lebenszyklus ist relevant, da die Assistenz- und Wissensdienste Teil des Produktes sind.

Das Großunternehmen (U3) stellt pneumatische und elektrische Antriebe für die Fabrik-Prozessautomatisierung her, die sowohl in kundenspezifischen Produkten als auch in der eigenen Produktion Anwendung finden. Das Pilotszenario betrifft die Wartung und Instandhaltung unternehmenseigener Maschinen, insbesondere die Störungs- und Fehlerbeseitigung (Wechsel eines Betriebsstoffs). Daher ist hier „Maintenance/Usage“ der Instanz relevant.

3. Verortung in RAMI 4.0

Die Verortung in RAMI 4.0 wird schichtweise durchgeführt. In jeder der Schichten werden die Pilotszenarien dargestellt und erläutert. Wichtig ist zu beachten, dass nicht das APPsist-Forschungsprojekt selbst (als Artefakt, das im Rahmen eines Verbundprojekts entwickelt wurde) analysiert wird, sondern die jeweiligen Einsatzgebiete des APPsist-Systems.

Geschäftssicht

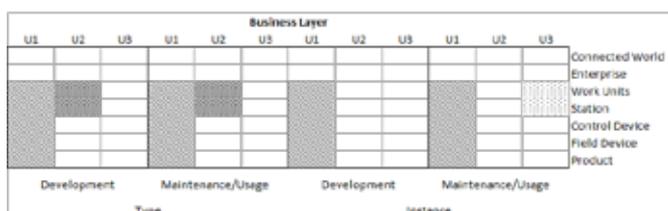


Abb. 12: Geschäftssicht

Aus Geschäftssicht betreffen AWD insbesondere die Hierarchieebenen „Arbeitsplatzgruppen“ („Work Units“)

und „Station“, da dort die Mitarbeiter angesiedelt sind, die diese Dienste verwenden. Die Verortung auf der Achse „Lifecycle“ hängt vom Einsatz im Unternehmen und dem Geschäftsmodell ab. U2 setzt AWD bei der Entwicklung von Werkzeugen an, U3 in der Produktion. Für U1, als Unternehmen das AWD als Teil eines zu verkaufenden Produkts entwickelt, sind weitere Hierarchieebenen involviert.

Allgemein spielen auch rechtliche Rahmenbedingungen eine große Rolle, da mitarbeiterbezogene Daten gewonnen und verarbeitet werden. Dabei müssen beispielsweise Absprachen zu Lernzeiten innerhalb der Arbeitszeit vereinbart werden. Ebenso muss geregelt und beschrieben werden können, inwiefern sich Kompetenzsteigerungen der Mitarbeiter durch den Einsatz des Assistenz- und Wissenssystems in ihrer Entlohnung niederschlägt.

Funktionsschicht

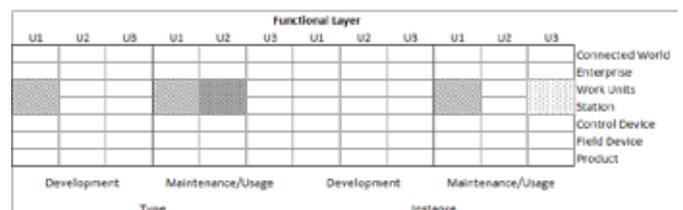


Abb. 13: Funktionsschicht

Die Funktionen von AWD sind in erster Linie auf die Arbeitsplatzgruppen und die dazugehörigen Stationen bezogen, da dort die Beschäftigten angesiedelt sind, die mit dem System interagieren. Es werden zwar auch Geräte auf tiefer liegenden Hierarchieebenen angesprochen, aber nur als Datenlieferant, nicht als funktional-erweiterte Einheiten. Die Platzierung auf der Achse „Lifecycle“ hängt wie gehabt vom Einsatz im Unternehmen und dem Geschäftsmodell ab.

Informationsschicht

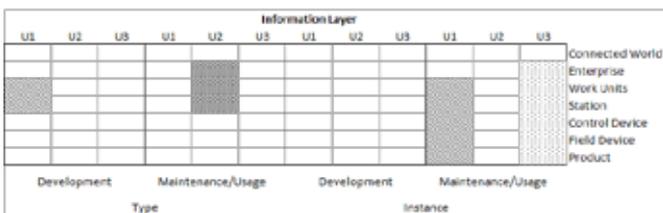


Abb. 14: Informationsschicht

Um Assistenz und Wissen passgenau vermitteln zu können, müssen Produktionsgegenstände und Organisationseinheiten sowie Wissen über Produkte, Produktionsgegenstände, Maschinen und Arbeitsprozesse formal beschrieben werden. Ebenso müssen Steuerungs- und Sensordaten interpretiert werden, um daraus für AWD relevante Maschinenzustände (z. B. Störung oder funktionsfähiger Zustand) abzuleiten. Die genauen Hierarchieebenen hängen vom konkreten Einsatz ab. Für U2 sind Daten von „Enterprise“ bis zu „Station“ relevant, für U3 zusätzlich auch Steuerungs-, Sensor und Produktdaten. U1 ist auch hier wieder ein Sonderfall, da Daten aus dem Einsatz der Produktionsanlage beim Kunden zurück zur Produktentwicklung fließen.

Kommunikationsschicht

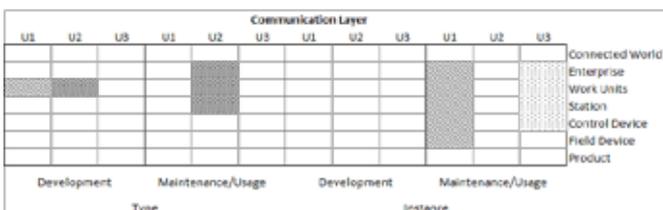


Abb. 15: Kommunikationsschicht

Die notwendige Kommunikation ergibt sich aus den konkreten Einsatzszenarien. In U1 werden Daten aus dem Betrieb der Produktionsanlage beim Kunden an die Konstruktion kommuniziert, in U2 innerhalb einer Station im eigenen Betrieb und zur eigenen Konstruktion, in U3 nur innerhalb des Produktionsstandorts.

Integrationschicht

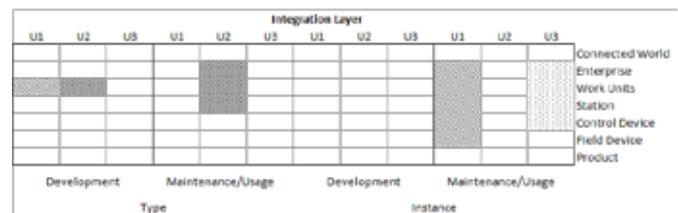


Abb. 16: Integrationschicht

Die konkrete Ausprägung der Integrationschicht folgt den Notwendigkeiten der Kommunikationsschicht. Für eine volle Ausschöpfung der Adaptionsmöglichkeiten von AWD müssen in der Regel Treiber entwickelt werden, die die Steuerungen und Sensoreinheiten der Maschinen zugänglich machen, sowie Adapter zu ERP-Systemen, um Informationen über betriebliche Prozesse und Mitarbeiter zu erhalten.

Gegenstandsschicht

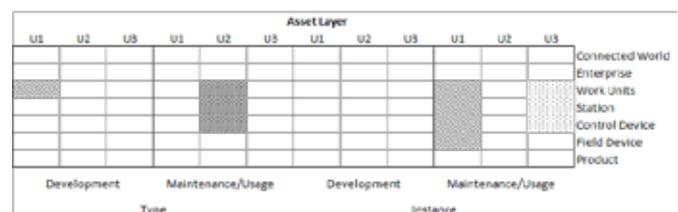


Abb. 17: Gegenstandsschicht

Diese Schicht beinhaltet die eingebundenen Maschinen bis hin zu Sensoren, vorhandene digitale Dokumente und Inhalte, die über die AWD dem Mitarbeiter kontextabhängig und gezielt zur Verfügung gestellt werden, und die Beschäftigten.

4. Assistenz- und Wissensdienste im Allgemeinen

Die betrachteten Pilotszenarios decken verschiedene Einsatzgebiete von AWD ab. Das Folgende ist ein Versuch, AWD im Allgemeinen mit Blick auf RAMI 4.0 zu analysieren.

Die Verortung im Lifecycle ist vom konkreten Einsatz abhängig, je nachdem in welchem Teil des Life Cycle die vom AWD unterstützten Beschäftigten tätig sind (beispielsweise Entwicklung oder Produktion). In der Regel wird der Fokus auf einer einzelnen Phase liegen (in den folgenden Visualisierungen werden alle die in Frage kommen markiert).

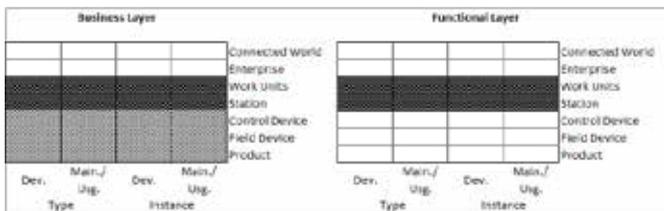


Abb. 18: Geschäftsschicht (links) und Funktionsschicht (rechts)

Die Geschäftssicht ist ebenfalls stark vom Einsatz der AWD abhängig. Werden die AWD in der eigenen Produktion zur Unterstützung der Beschäftigten eingesetzt, dann sind vor allem die Hierarchieebenen „Arbeitsplatzgruppen“ und „Station“ betroffen (dunkle Schraffur im Bild). Ergänzen AWD ein verkauftes Produkt, dann werden in der Regel auch darunter liegende Ebenen erfasst (hellere Schraffur).

In der Funktionsschicht sind AWD vor allem auf den Hierarchieebenen „Arbeitsplatzgruppen“ und „Station“ verortet, da dort die Interaktion mit den Beschäftigten stattfindet.

Für die restlichen Schichten ist keine Differenzierung möglich. AWD können alle Hierarchieebenen abdecken, abhängig von den Entitäten zu denen die Beschäftigten Unterstützung bekommen (zum Beispiel die Produktionsanlagen oder das erstellte Produkt), und von den dafür verwendeten Daten. Auch Life Cycle-übergreifende Kommunikation kann möglich werden, wenn z. B. Daten aus dem Einsatz der AWD beim Kunden zurück zu den Entwicklern fließen.

5. „Resilienz“ und „Security-by-Design“

Aufgrund der Sensibilität von benutzerbezogenen Daten die von AWD erhoben werden, sollten diese in einer gesonderten Datenbank gespeichert werden und nur dem Mitarbeiter und den AWD zugänglich sein. Standardtechniken basierend auf Session-Ids können sicherstellen, dass nur autorisierte Dienste Informationen austauschen. AWD können so konzipiert werden, dass nur Lesezugriff auf vorhandene Datenbanken notwendig ist (APPSist wurde dementsprechend realisiert). Dadurch ist zusätzliche Sicherheit gewährleistet.

Die Gewährleistung von Resilienz kann durch die Verwendung von entsprechenden Frameworks erreicht werden (im Fall von APPSist ist dies Vert.x³³).

6. Empfehlungen an die Plattform Industrie 4.0

Die bisher verfügbaren Dokumente zu RAMI 4.0 sind durch ihre Kürze und Abstraktheit nur schwer anwendbar. Es sollte ein Komplettbeispiel ausgearbeitet werden, dass sich über alle drei Dimensionen, über mehrere Ebenen und Lebenszyklen erstreckt.

Die dreidimensionale Darstellung ist schwer zu erstellen und darzustellen, da Teile überdeckt werden. In diesem Beitrag wurde sie daher auf mehrere Grafiken aufgeteilt.

Einordnung von InnoCyFer in die RAMI 4.0 Referenzarchitektur

Susanne Vernim, iw b - TU München

1. Motivation und Zielsetzung des Projektes

Das Forschungsprojekt „Integrierte Gestaltung und Herstellung kundeninnovierter Produkte in Cyber-Physischen Fertigungssystemen“ (InnoCyFer) ist durch die steigende Kundenindividualität von Verbraucherprodukten motiviert. Diese Entwicklung wird durch das kontinuierlich gestiegene Anspruchsniveau der Kunden und die zunehmende Marktsättigung, die zu einem Überangebot an Waren führte, bedingt. In stagnierenden Märkten ergab sich dadurch in den letzten Jahren ein starker Anstieg der Varianten bei gleichbleibendem Absatz. Unternehmen können nur erfolgreich im internationalen Wettbewerb bestehen, wenn sie durch den Ausbau ihres Leistungsangebotes eine Differenzierung gegenüber ihren Wettbewerbern erreichen.

Immer mehr Unternehmen verstehen sich daher als Dienstleister für den Kunden und streben eine nahezu vollständige Erfüllung der Kundenwünsche an. Durch die direkte Kommunikation zwischen Kunde und Unternehmen über Web-2.0-Plattformen wird der Endkunde bzw. Verbraucher in die Lage versetzt, umfangreicher in den Prozess der Produktentwicklung einzugreifen, wodurch seine Wünsche und Ideen bereits in die Entwicklung des

individuellen Produkts integriert werden. Durch Geometrie- und Funktionsanpassungen kann der Kunde das Produktdesign in abgegrenzten Lösungsräumen vollständig bestimmen und seine eigenen Produktvorstellungen einbringen, wobei für ihn immer aktuell die dafür anfallenden Kosten und der Lieferzeitpunkt durch die Rückkopplung mit der Produktion errechnet werden. Dies ermöglicht eine neue Ebene der kundenindividuellen Gestaltung von Produkten, so dass diese, zur Abgrenzung von kundenindividuellen Produkten, mittels Kombination vordefinierter Komponenten, als kundeninnovierte Produkte bezeichnet werden.

Als Use-Case wird ein Kaffeevollautomat (KVA) als ein Beispiel für ein individualisierbares Lifestyle-Produkt im B2C-Bereich herangezogen (s. Abb. 19). Dieser wird vom Kunden in einer Open-Innovation-Plattform über ein sog. Toolkit formgebend gestaltet und das Design mit anderen Usern diskutiert. Bei einer Bestellung wird das digitale Produktmodell an die Produktionsplanung und -steuerung übergeben und dort die erforderlichen Produktionsprozesse und die zugehörigen Daten, die Herstellkosten sowie die Termin- und Kapazitätsplanung durchgeführt, letztere beruht auf einem neuartigen bionischen Scheduler, der sich am Futtersuchverhalten von Ameisen orientiert.

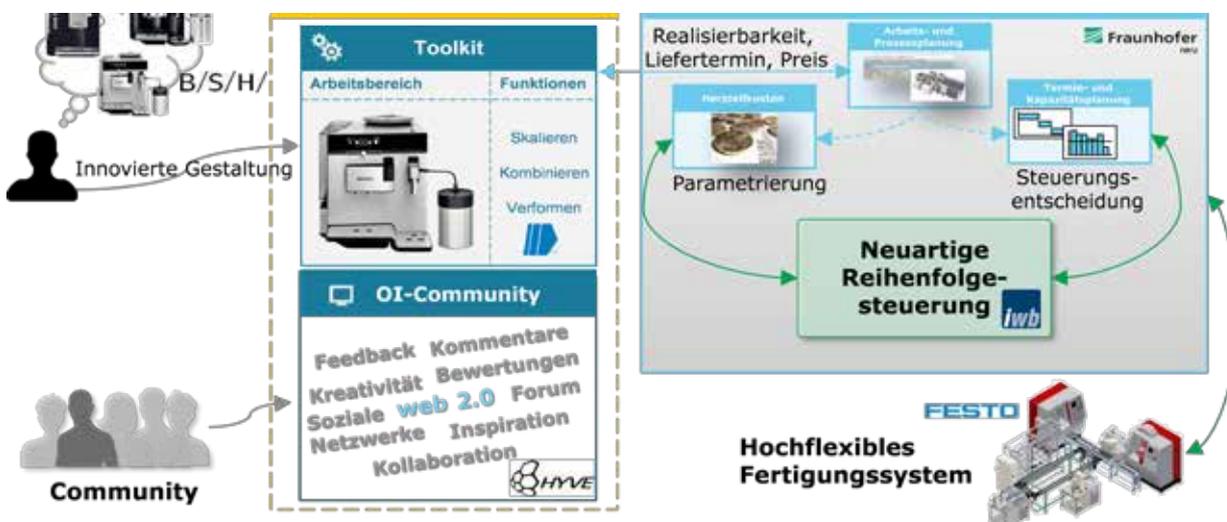


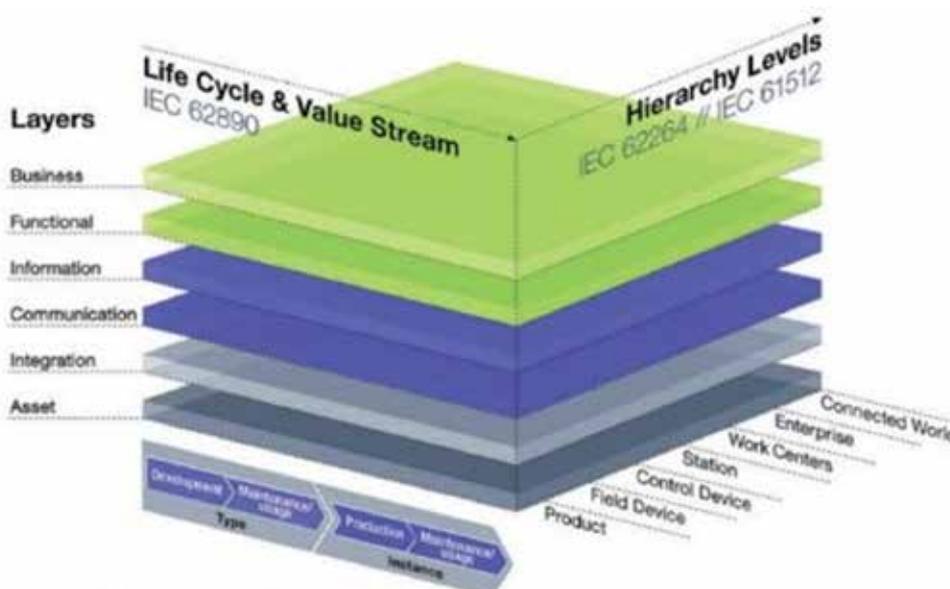
Abb. 19: Use-Case im Projekt InnoCyFer

2. Einordnung in die RAMI-4.0-Referenzarchitektur

Der Use-Case einer durchgehenden digitalen Prozesskette vom kundeninnovierten Produkt bis hin zu dessen automatisierten Fertigung lässt sich gut in das RAMI-4.0-Modell einordnen (s. Abbildung 20). Die in InnoCyFer aufgebaute Softwarearchitektur orientiert sich dabei am Stand der Technik und wird durch neue Funktionen, Elemente und Einsatzzwecke ergänzt, es wird jedoch keine neue Softwarearchitektur entwickelt. Aus diesem Grund wird das RAMI-4.0-Modell in erster Linie als Ordnungsstruktur im Projekt eingesetzt. Konkrete Umsetzungen spezifischer Systemeigenschaften orientieren sich an den Anforderungen, welche aus dem Use-Case entstanden, nicht an der übergeordneten Referenzarchitektur.

Zur besseren Übersicht der inhaltlichen Aspekte auf den einzelnen Ebenen wurde eine 2D-Darstellung gewählt (s. Abbildung 21).

Business Layer



Source: Plattform Industrie 4.0

Auf der Business-Ebene kann das Geschäftsmodell des Projektes InnoCyFer eingeordnet werden. Die Herstellung und der Vertrieb kundeninnovierter Produkte stellen hier den Kern des Geschäftsmodells dar. Desweiteren kann auch das benötigte Produktionssystem, ein flexibel automatisiertes Fertigungssystem, hier verordnet werden.

Functional Layer

Die Funktionsschicht des Referenzmodells dient im Projekt zur Einordnung der einzelnen Dienste. In InnoCyFer sind das unter anderem der Aufbau und die Bereitstellung einer Open-Innovation-Plattform sowie des Toolkits mit dem der Kunde sein Produkt gestalten kann. Diese beiden stellen die Verbindung des Geschäftsmodells mit der externen Welt, in diesem Fall der Welt des Kunden dar. Auf Produktebene kann in der Funktionsschicht die Produktarchitektur angeordnet werden, genauso wie die Steuerungsmöglichkeiten in der Fertigung. Die Produktarchitektur ist ein Kernelement im Projekt InnoCyFer, da nur mittels einer geeigneten Struktur der Kunde überhaupt in die Lage versetzt werden kann, in den Produktentwicklungsprozess mit einzugreifen. Es muss klar definiert sein, welche Elemente des Produktes durch den Kunden verändert werden können und welche nicht. Für die veränderbaren Bereiche müssen anschließend Lösungsräume vorgegeben werden und Schnittstellen zur Anbindung an die Standardkomponenten geschaffen werden.

Es muss klar definiert sein, welche Elemente des Produktes durch den Kunden verändert werden können und welche nicht. Für die veränderbaren Bereiche müssen anschließend Lösungsräume vorgegeben werden und Schnittstellen zur Anbindung an die Standardkomponenten geschaffen werden.

Information Layer

Die konkrete Beschreibung der Inhalte und Elemente von Open-Innovation-Plattform und Toolkit finden sich auf der Informationsschicht

Abb. 20 RAMI 4.0 Referenzarchitektur

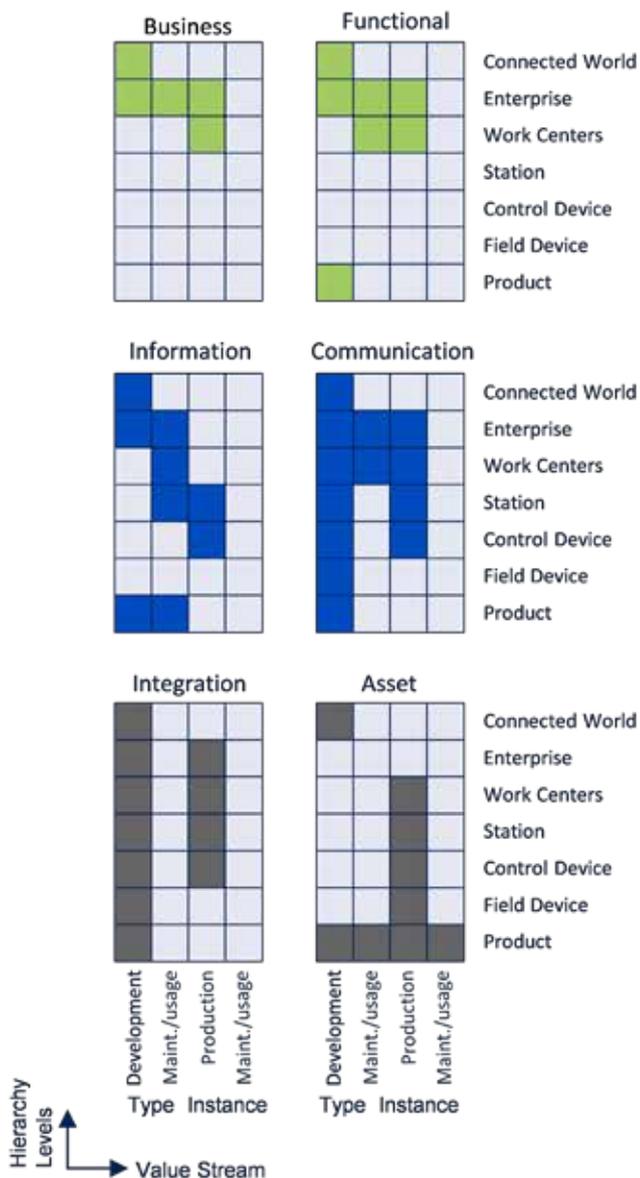


Abb. 21: Ebenen spezifische Einordnung

wieder. Hier erfolgt die Detaillierung der Funktionsweisen und Interaktionsmöglichkeiten der Nutzer mit den Systemen. Darüber hinaus werden die Informations- und Datenflüsse der Produktionsplanung und -steuerung festgehalten. Der in InnoCyFer entwickelte bionische Scheduler, ein auf einem Ameisenalgorithmus basierender Steuerungsalgorithmus, übernimmt die komplexe Zuordnung der hochindividuellen Aufträge auf die einzelnen Maschinen und Anlagen. Er benötigt als Input die für das jeweilige Bauteil nötigen Arbeitspläne und verarbeitet diese effizient und kapazitätsorientiert weiter.

Communication Layer

Zur Kommunikation der einzelnen Elemente in der InnoCyFer-Architektur wurde lediglich für die Modellierung der relevanten Daten ein definierter Standard,

nämlich XML, gewählt. Für die Umsetzung müssen die Kommunikationswege noch weiter konkretisiert werden. In diesem Zusammenhang werden dann auch die jeweils benötigten Standards ausgewählt.

Integration Layer

Ähnlich wie auch bei der Kommunikationsschicht, wird die Integration der einzelnen Elemente in InnoCyFer über die Wertschöpfungskette hinweg realisiert. Im Bereich der Produktion wurde zur Identifikation und Kommunikation der Bauteile mit dem Produktionssystem eine Umsetzung mittels HF-RFID gewählt. Prinzipiell ist jedoch auch der Einsatz anderer Technologien denkbar.

Asset Layer

Auf der untersten Ebene des RAMI 4.0-Modells werden die konkreten Elemente des Use-Cases eingeordnet. Im vorliegenden Fall sind das der Kunde, das 3D-Produktmodell, das zu individualisierende Ausgangsprodukt und die Fertigungsanlage des Anbieters inklusive aller beteiligten Maschinen, Transportmittel etc.

3. Fazit der Einordnung in RAMI 4.0

Ein konkreter Mehrwert durch die Einordnung der InnoCyFer-Projektinhalte in die RAMI-4.0-Referenzarchitektur konnte nicht herausgestellt werden. Dies lag zum einen daran, dass keine Softwarearchitektur im eigentlichen Sinne entwickelt wurde, zum anderen an fehlenden Standards, die aktuell in der Referenzarchitektur hinterlegt sind.

Um das Referenzmodell als Grundlage für die Konzeption von Industrie-4.0-Anwendungsfällen zu verwenden, muss es mit entsprechenden Standards, Vorgehensweisen und Methoden gefüllt werden. Ist dies erfolgt, kann es aus Sicht von InnoCyFer als eine Art „Baukasten“ für die Definition von Industrie-4.0-Anwendungsfällen dienen und konkrete Unterstützung bei der Umsetzung und der Auswahl konkreter Technologien oder Standards darstellen.

Beitrag zum Projekt GEMINI

Gudrun Tschirner-Vinke, Atos IT Solutions and Services GmbH

1. Einleitung

Die zunehmende Digitalisierung ermöglicht faszinierende, aber nahezu unüberschaubare Möglichkeiten für innovative Geschäftsmodelle. Es besteht daher Handlungsbedarf zur Unterstützung der beteiligten Marktpartner bei der Entwicklung, Risikoabschätzung und Umsetzung dieser neuartigen Geschäftsmodelle. Ziel des Projekts GEMINI ist die Entwicklung einer Methodik zur systematischen Erarbeitung von tragfähigen Geschäftsmodellen für die Industrie 4.0.

Die im Juni 2015 veröffentlichte Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) fokussiert demgegenüber die Konzeption und Umsetzung von Industrial Internet Systems (IIS), beinhaltet dabei aber auch Konzepte, um betriebswirtschaftliche Belange bei der Entwicklung derartiger IIS zu erfassen. Diese Systeme werden definiert als Ende-zu-Ende-Anwendungssysteme für industrielle Aufgaben und beinhalten technische Komponenten ebenso

wie die Interaktionen mit Nutzern³⁴.

In diesem Positionspapier werden die in GEMINI und im Rahmen der IIRA verfolgten Ansätze näher vorgestellt und zueinander in Bezug gesetzt.

2. GEMINI – Geschäftsmodelle für Industrie 4.0

Digitalisierung und Vernetzung beeinflussen zunehmend die Art und Weise, wie Industrieunternehmen produzieren und ermöglichen den grundlegenden Wandel ihrer Wertschöpfung. So werden Hersteller von Produktionsmaschinen zukünftig nicht mehr nur einmalig Maschinen verkaufen, sondern diese durch Dienste ergänzen, die bspw. Informationen über den Zustand einer Maschine sammeln und auswerten, um Verschleiß und Ausfälle vorausschauend zu erkennen (Predictive Maintenance). Dadurch können wiederkehrende Einnahmen generiert werden.

34 Heidrich et al. 2016

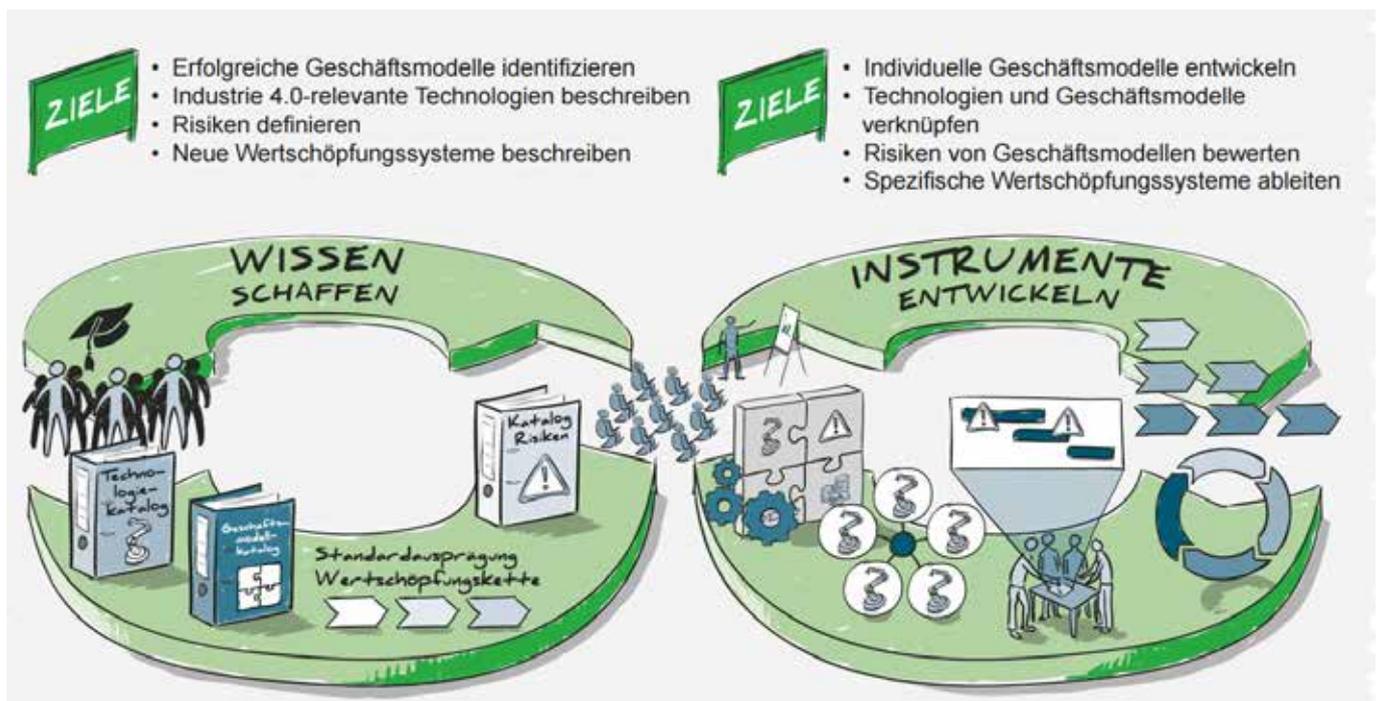


Abb. 22: Big Picture GEMINI – Mit Fokus auf dem Schaffen von Wissen und der Entwicklung und Einführung von Instrumenten zur Geschäftsmodellentwicklung (Projekt GEMINI, www.c-lab.de/projekte/gemini)

Alternativ kann der Maschinenhersteller statt der Maschine auch eine festgelegte Produktionsleistung an den Kunden verkaufen. Um innovative Geschäftsideen für Industrie 4.0 erfolgversprechend umzusetzen, braucht es auf Anbieterseite nicht nur Technologie-Know-how, sondern vor allem auch das Wissen, wie aussichtsreiche Geschäftsmodelle identifiziert und konkretisiert werden können. Ein Geschäftsmodell beschreibt dabei die Grundlogik, wie eine Organisation Werte schafft³⁵ und beantwortet u.a. Fragen nach den Zielkunden, der Marktleistung und dem Nutzenversprechen sowie den Schlüsselaktivitäten. Bei der Vielzahl an Möglichkeiten für die Ausgestaltung von Geschäftsmodellen soll das im Projekt GEMINI entwickelte Instrumentarium, welches Methoden, Prozesse und IT-Werkzeuge umfasst, daher Unternehmen befähigen, innovative Geschäftsmodelle zu entwickeln und in die Praxis einzuführen.

Wie die aktuelle Forschung zeigt, basieren die meisten Geschäftsmodellinnovationen auf Rekombinationen einer Anzahl von unterscheidbaren Geschäftsmodellmustern³⁶. GEMINI nutzt ebenfalls das musterbasierte Vorgehen, indem ausgehend von erfolgreichen, existierenden Geschäftsmodellen allgemeine und Industrie-4.0-spezifische Geschäftsmodellmuster identifiziert (z. B. Pay-per-use, two-sided market, ...) und in einer Wissensbasis hinterlegt werden. Die Muster können iterativ zu neuen Geschäftsmodellen kombiniert werden. Ergänzt wird die Wissensbasis durch einen Katalog möglicher Risiken, die sich u.a. durch die zunehmende Vernetzung von Partnern in einem Wertschöpfungsnetzwerk (relationale Risiken) ergeben sowie intern (z. B. technische oder finanzielle Risiken) oder extern (z. B. Marktrisiken) induziert sein können. Eine effiziente Einschätzung und Minimierung möglicher Risiken wird somit unterstützt und bei der Geschäftsmodellentwicklung frühzeitig berücksichtigt. Zum GEMINI-Instrumentarium gehören ferner ein Geschäftsmodellkonfigurator, der die Erstellung von Geschäftsmodellen für den Anwender vereinfacht sowie

ein Operationalisierungsplaner, der die Integration des entwickelten Geschäftsmodells in die unternehmerische Wertschöpfung unterstützt.

Die im Projekt erarbeitete Vorgehensweise zur Geschäftsmodellentwicklung wird anhand eines Pilotprojekts evaluiert. Bei der zugrundeliegenden Geschäftsidee handelt es sich um eine IT-basierte Marktplatzplattform, die Angebot und Nachfrage nach freien Produktionskapazitäten zusammenbringt. Angeboten werden dabei freie Kapazitäten von additiven Fertigungsmaschinen, die von Unternehmen nachgefragt werden, die additive Fertigungsverfahren nutzen möchten aber nicht über entsprechende Maschinen verfügen.

Im ersten Schritt wird diese Geschäftsidee mit Hilfe des GEMINI-Instrumentariums überprüft und verfeinert. In Anlehnung an Osterwalder³⁷ werden dazu in einer Value Proposition Canvas das Kundenprofil (Aufgaben, Probleme und Gewinn) sowie das Wertangebot beschrieben, und zwar für jedes Kundensegment.

Für die anschließende Übertragung der konkretisierten Geschäftsidee in ein entsprechendes Geschäftsmodell, wurden bekannte Geschäftsmodellrahmen³⁸ adaptiert und weiterentwickelt. So ergänzt der GEMINI-Geschäftsmodellrahmen (s. Abbildung 23) die Partialmodelle „Angebotsmodell“, „Kundenmodell“, „Wertschöpfungsmodell“ und „Finanzmodell“ um die zusätzlichen Aspekte „Vorteile für den Betreiber“, „Anreize für den Partner“ und „Risiken“. Das Angebotsmodell lässt sich dabei mit den Informationen aus der Value Proposition Canvas füllen. Die weiteren Partialmodelle werden dann unter Zuhilfenahme der zuvor erwähnten Geschäftsmodellmuster, die im Vorfeld hierarchisch strukturiert wurden, in einem iterativen Prozess befüllt und detailliert.

Zuletzt erfolgt die Geschäftsmodelloperationalisierung, auf die an dieser Stelle jedoch nicht weiter eingegangen wird.

35 Bieger et al. 2011

36 Gassmann et al. 2013

37 Osterwalder et al. 2014

38 Osterwalder et al. 2010, Köster 2014

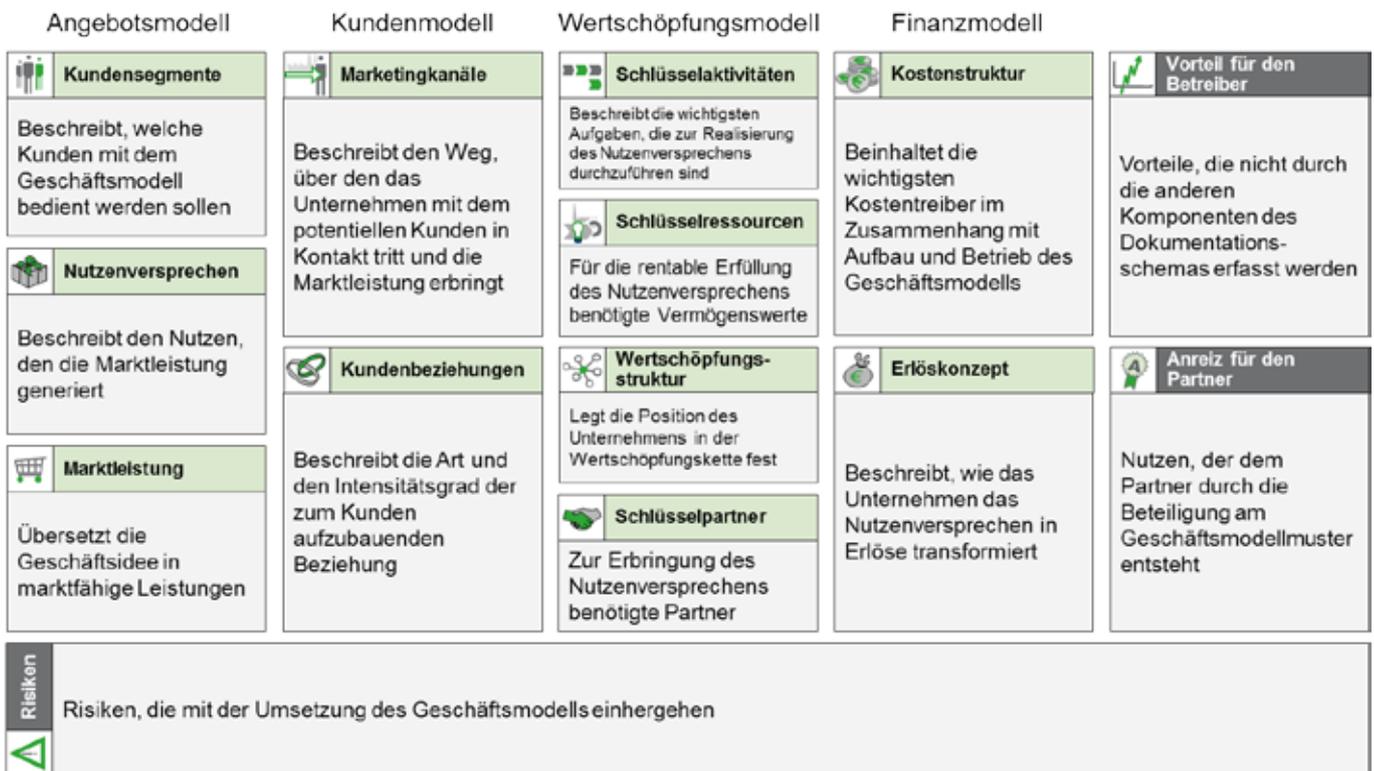


Abb. 23: Die GEMINI Business Model Canvas (Projekt GEMINI, www.c-lab.de/projekte/gemini/)

3. Industrial Internet Reference Architecture

Die Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) Version 1.7, im Juni 2015 vom amerikanischen Industrial Internet Consortium (IIC) veröffentlicht, ist ein Vorschlag für eine Industrie-4.0-Referenzarchitektur. Eine Referenzarchitektur im Kontext von Industrie 4.0 definiert ein grundlegendes Muster für die Produkte und Dienstleistungen aller am Wertschöpfungsprozess beteiligten Unternehmen. Sie bildet den Rahmen für die Strukturierung, Entwicklung und Integration sowie den Betrieb der relevanten technischen Systeme³⁹.

IIRA ist eine auf Standards basierende, offene Architektur und unterstützt die Konzeption vernetzter und kommunikationsfähiger Systeme (Industrial Internet Systems), um Geschäftsprozesse unternehmensübergreifend ausführen zu können. Die dafür notwendigen Ende-zu-Ende-Verbindungen müssen vor allem folgende Merkmale (key system characteristics) garantieren:

- Betriebssicherheit (safety)
- IT-Sicherheit (security)
- Widerstandsfähigkeit (resilience)

Zu den darüber hinausgehenden Merkmalen gehören

Schutz der Privatheit, Zuverlässigkeit, Skalierbarkeit, anwenderfreundliche Nutzung, Wartbarkeit, Portabilität und Kompatibilität.

Bei Industrial Internet Systems (IIS) handelt es sich um komplexe, unternehmensübergreifende Systeme, so dass die Belange (concerns) von vielen Interessensvertretern (Stakeholder) berücksichtigt werden müssen. Um diese Belange, die den kompletten Lebenszyklus des Systems umfassen, systematisch erfassen und beschreiben zu können, bietet das Industrial Internet Architecture Framework (IIAF) grundlegende Konventionen, Prinzipien und Definitionen. Das IIAF basiert auf dem internationalen Standard ISO/IEC/IEEE 42010:2011, aus dem Architekturbeschreibungs-Konstrukte, zum Beispiel Concern, Stakeholder und Viewpoint übernommen wurden. Vier Viewpoints bilden die grundlegenden Schichten beim Aufbau der IIRA. Merkmale wie Sicherheit ziehen sich durch alle Schichten.

Die oberste Schicht, der Business Viewpoint, der im Folgenden näher erläutert wird, erfasst die geschäftsbezogenen Belange (insbesondere Wertschöpfung, Rendite, Instandhaltungskosten) und regulatorischen Rahmenbedingungen (insbesondere Produkthaftung) beim Aufbau eines IIS und hat somit einen gewissen thematischen Bezug zur Geschäftsmodellentwicklung und den Inhalten des Projekts GEMINI.

³⁹ Kagermann et al. 2013

Die unterhalb des Business Viewpoint angeordnete Schicht Usage Viewpoint adressiert die Belange zur Nutzung eines IIS und basiert auf den im Business Viewpoint definierten Zielsetzungen. Es folgt der Functional Viewpoint mit Fokus auf den funktionalen Komponenten eines IIS sowie auf deren Zusammenhänge, Struktur, Schnittstellen und Interaktionen. Des Weiteren werden die Interaktionen eines IIS mit seiner Umwelt betrachtet. Die unterste Schicht bildet der Implementation Viewpoint, der die benötigten Technologien für die Umsetzung der funktionalen Komponenten und deren Vernetzung behandelt. In die Beschreibung der Umsetzung fließen sowohl die Ziele des Business Viewpoint als auch die Spezifikationen aus Usage und Functional Viewpoint ein.

Die in IIRA vorgestellten Konzepte für die Identifizierung und Validierung von geschäftsbezogenen Belangen stehen in Bezug zueinander,⁴⁰ und daher gilt es gemäß der Vorgehensweise zur Beschreibung des Business Viewpoint zunächst, die für diesen Viewpoint wichtigen Stakeholder zu identifizieren und einzubinden. Dazu gehören Führungskräfte sowohl aus der Geschäftsleitung als auch aus dem operativen Management, die die zukünftige geschäftliche Ausrichtung des Unternehmens (Visions) entwickeln und validieren, wie die Vision durch die Einführung des zur Diskussion stehenden IIS erreicht werden kann. Werte und Erfahrungen (Values & Experiences) definieren die an den Geschäftszielen orientierten Systemeigenschaften des IIS mit Blick auf die Nutzer des Systems sowie auf die an der Finanzierung beteiligten Stakeholder. Als nächstes werden die Zielvorgaben (Key Objectives) des entstehenden IIS auf Basis der Werte und Erfahrungen zum einen als technische Anforderungen auf hohem Level und zum anderen im Hinblick auf die Geschäftsergebnisse definiert. Diese Zielvorgaben sollen messbar und termingebunden sein. Aus den Zielvorgaben ergibt sich die Beschreibung der grundlegenden Eigenschaften (Fundamental Capabilities) des Systems, die ebenfalls auf hohem Level festgehalten werden und in den nachfolgenden

Viewpoints verfeinert werden. Die hier definierten Systemeigenschaften orientieren sich an der angestrebten Geschäftsausrichtung.

4. Anknüpfungspunkte zwischen Industrial Internet Reference Architecture und GEMINI

GEMINI bietet einen strukturierten Ansatz für die Geschäftsmodellentwicklung im Kontext von Industrie 4.0, der als komplementär zu der von IIRA innerhalb des Business Viewpoint unterstützten Vorgehensweise angesehen werden kann. Die an der Geschäftsstrategie orientierten Eigenschaften des IIS adressieren die verschiedenen Stakeholder und deren Interessen und sind vergleichbar mit dem Geschäftsmodellelement „Nutzenversprechen“ in der in GEMINI genutzten Business Model Canvas (s. Abbildung 1). Dieses Nutzenversprechen wird mit Hilfe der Value Proposition Canvas für jedes Kundensegment anhand des jeweiligen Kundenprofils erarbeitet und geht somit detailliert auf die Erwartungen und Probleme des Kunden ein. Dabei stellt der Kunde im Kontext der im Business Viewpoint anzustellenden Überlegungen einen wesentlichen, wenn nicht sogar den wichtigsten Stakeholder dar, dessen Interesse bei der Festlegung der grundlegenden Eigenschaften eines ISS angemessen zu berücksichtigen sind. Andernfalls kann die angestrebte geschäftliche Ausrichtung des Unternehmens infolge einer mangelnden Akzeptanz des ISS auf Kundenseite (infolge eines nicht oder nur eingeschränkt vorhandenen Kundennutzens/werts) nicht erreicht werden. Bei der Definition der technischen/kundennutzenbezogenen Zielvorgaben innerhalb des Business Viewpoint kann das Geschäftsmodellelement „Marktleistung“ hinzugezogen werden, das diejenigen einzelnen Bausteine beschreibt, die für die Umsetzung einer Geschäftsidee in eine marktfähige Leistung notwendig sind. Die Geschäftsidee kann hierbei mit dem IIS verglichen werden. Darüber hinaus enthält die in GEMINI genutzte Business Model Canvas ebenfalls Angaben zu Erlösmodell und Kostenstruktur, die bei der Festlegung der finanziellen Zielvorgaben innerhalb des Business Viewpoint berücksichtigt werden können, die im Hinblick

auf die von IIRA an dieser Stelle geforderte Quantifizierbarkeit allerdings weiter zu detaillieren sind. Schließlich unterstützt GEMINI überdies die Erfassung und Bewertung von Risiken bei der Geschäftsmodellentwicklung. So können bspw. finanzielle Risiken durch ein geändertes Erlös-konzept abgeschwächt werden. Marktrisiken, wie der Eintritt neuer Mitbewerber, können durch entsprechende Anpassungen der Marktleistung berücksichtigt werden, auf deren Basis sich das betreffende Unternehmen von der neuen Konkurrenz wirkungsvoll differenzieren und seine angestrebte strategische Ausrichtung in der Folge weiterhin erreichen kann. Die bei der Geschäftsmodellentwicklung ermittelten Risiken, die auf technische Ursachen zurückzuführen sind, können wiederum erste Anhaltspunkte zu den mit ihrer Reduktion durch entsprechende technische Gegenmaßnahmen einhergehenden Kosten liefern, die bei der Umsetzung der wesentlichen Eigenschaften Betriebssicherheit, IT-Sicherheit und Widerstandsfähigkeit eines IIS entstehen und die daher bei der Formulierung der finanziellen Zielvorgaben innerhalb des

Business Viewpoint entsprechend zu berücksichtigen sind. In den tieferen Schichten der IIRA können dann die jeweiligen technischen Einzelmaßnahmen zur Risikobehaltung konkret ausgewählt und beschrieben werden.

5. Fazit

Die Industrial Internet Reference Architecture unterstützt vor allem Entwickler und Systemintegratoren, die mit der Konzeption, Architektur und Design eines IIS beschäftigt sind. Die Fokussierung auf diese Aspekte zeigt schon die umfangreiche Darstellung vor allem des Functional und Implementation Viewpoint im Vergleich zum Business Viewpoint in IIRA. Anhand der vorgenannten Ausführungen wird jedoch deutlich, dass die in GEMINI erarbeitete Methodik mit ihrem Geschäftsmodellfokus eine gute Ergänzung zur IIRA darstellt und zahlreiche nützliche Informationen insbesondere zu den innerhalb des Business Viewpoint anzustellenden Überlegungen liefern kann

Literaturverzeichnis

- Anderl 2015 ANDERL, R. Industrie 4.0. Technological approaches, use cases, and implementation, In: Automatisierungstechnik, Band 63, 10, S. 753–765, 2015, ISSN (Online) 2196-677X, ISSN (Print) 0178-2312, DOI: 10.1515/auto-2015-0025, 2015
- Usländer 2015 USLÄNDER, T.; EPPLE, U. Reference model of Industrie 4.0 service architectures - Basic concepts and approach, In: Automatisierungstechnik, Band 63, 10, S. 858–866. ISSN (Online) 2196-677X, ISSN (Print) 0178-2312, DOI: 10.1515/auto-2015-0017, 2015
- BITKOM 2015 BITKOM e. V. Umsetzungsstrategie Industrie 4.0, www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Umsetzungsstrategie-Industrie-40.html [14. April 2015].
- ICC 2016 INDUSTRIAL INTERNET CONSORTIUM: Industrial Internet Reference Architecture. www.iiconsortium.org/IIRA.htm, 2016
- Plattform Industrie 4.0 2015 PLATTFORM INDUSTRIE 4.0: Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Berlin/Frankfurt, 2015
- Richtlinie 2006/42/EG RICHTLINIE 2006/42/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES (2006): Maschinenrichtlinie. Richtlinie über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG, 2006
- Industrial Communication Networks INDUSTRIAL COMMUNICATION NETWORKS: Network and System Security. IEC 62443.
- Plattform Industrie 4.0 2016 I PLATTFORM INDUSTRIE 4.0: Technischer Überblick. Sichere unternehmensübergreifende Kommunikation. Berlin, 2016
- Plattform Industrie 4.0 2016 II PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, Technischer Überblick. Sichere Identitäten. Berlin, 2016
- RAMI 4.0 RAMI 4.0: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0. DIN SPEC 91345.
- Plattform Industrie 2016 III PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, Technischer Überblick. Security in RAMI 4.0 (Arbeitstitel). Berlin, 2016
- Sterbenz 2010 STERBENZ ET AL., Resilience and survivability in communication networks: strategies principles, and survey of disciplines. Special Issue on Resilient and Survivable Networks. – In: Computer Networks 54, 8, S.1245–1265, 2010
- IIC 2015 IIC, Industrial Internet Reference Architecture. www.iiconsortium.org/IIRA-1-7-ajs.pdf, 2015
- BTV 2014 BAUERNHANSL, T., TEN HOMPEL, M., VOGELHEUSER, B., Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Wiesbaden. ISBN 978-3-658-04681-1, 2014
- WBM 2013 BODDEN, E., SCHNEIDER, M., KREUTZER, M., MEZINI, M., HAMMER, C., ZELLER, A., ACHENBACH, D., HUBER, M., KRASCHEWSKI, D., Entwicklung sicherer Software durch Security by Design. – In: Waidner, M., Backes, M., Müller-Quade, J.: Fraunhofer-Institut für sichere Informationstechnologie, SIT Technical Reports, SIT-TR-2013-01, 2013
- BLB 2006 BOKRANZ, R., LANDAU, K., BECKS, C., Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. In: MTM-Handbuch, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2006
- DRK 2014 DEUSE, J., ROßMANN, J., KUHLENKÖTTER, B., HENGSTEBECK, A., STERN, O., KLÖCKNER, M., A Methodology for the Planning and Implementing of Service Robotics in Industrial Work Processes. In: Proceedings of 5th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS), Dresden, S. 41-46. 12. 14.11, 2014

- HKR 2015 HEINZE, F., KLOECKNER, M., ROSSMANN, J., KUHLENKÖTTER, B., DEUSE, J., Simulating and Implementing the Integration of Service Robots into Manual Work Processes. - In: MARWAN AL-AKAIDI, ALADDIN AYESH): The 2015 European Simulation and Modelling Conference (ESM ,2015), Leicester, United Kingdom: EUROSIS-ETI. ISBN 978-90-77381-90-8. S. 371-376, 2015
- HKW 2014 HIRSCH-KREINSEN, H. WEYER, J., Wandel von Produktionsarbeit. Industrie 4.0. – In: TU Dortmund: Soziologisches Arbeitspapier Nr. 38/2014, 2014
- IIRA 2015 INDUSTRIAL INTERNET CONSORTIUM, Industrial Internet Reference Architecture. –In: tech-arch.tr.001, Version 1.7., 2015
- KWH 2013 KAGERMANN, H., WAHLSTER, W., HELBIG, J., Umsetzungsempfehlung für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. –In: Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft, 2013
- PPM 2008 PLÖGER, P., PERVÖLZ, K., MIES, C., EYERICH, P., BRENNER, M., NEBEL, B., The DESIRE Service Robotics Initiative. Künstliche Intelligenz – KI. 22, 4, S. 29-32, 2008
- RAMI 2015 VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., Statusreport: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0), 2015
- Funk et al. 2015 I FUNK, M., BAECHLER, A., BAECHLER, L., KORN, O., C., K., HEIDENREICH, T., SCHMIDT, A., Comparing projected in-situ feedback. – In: The manual assembly workplace with impaired workers. New York, NY, USA: Proceedings of the 8th international conference on pervasive technologies related to assistive environments, 2015
- Funk et al. 2015 II FUNK, M., BAECHLER, L., BAECHLER, A., HEIDENREICH, T., SCHMIDT, A., Exploring the Long-Term Effects of In-Situ Projected Instructions. – In: The Manual Assembly Workplace, Currently under review, 2015
- Adolphs et al. 2015 ADOLPHS, P., EPPLE, U. ET AL., Statusreport: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). – In: VDI/VDE Gesellschaft, 2015
- Ullrich et al. 2015 ULLRICH, C., AUST, M., BLACH, R., DIETRICH, M., IGEL, C., KAHL, D., PRINZ, C., SCHWANTZER, S., Assistenz- und Wissensdienste für den Shopfloor. – In: Proceedings of DeLFI Workshops 2015 co-located with 13th e-Learning Conference of the German Computer Society, 2015
- Vert.x 2016 Vert.x <http://vertx.io/>, 2016
- Bieger et al. 2011 BIEGER, T.; REINHOLD, S, Innovative Geschäftsmodelle. Konzeptionelle Grundlagen, Gestaltungsfelder und unternehmerische Praxis. - In: BIEGER, T., ZU KNYPHAUSEN-AUFSEB, D., KRYS, C.: Innovative Geschäftsmodelle. S. 13-70., 2011
- Gassmann et al. 2013 GASSMANN, O., FRANKENBERGER, K., CSIK, M., Geschäftsmodelle entwickeln – 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator. München: Carl Hanser Verlag., 2013
- Heidrich et al. 2016 HEIDRICH, M., LUO, J. Industrial Internet of Things. Referenzarchitektur für die Kommunikation. Whitepaper. Fraunhofer-Institut für Eingebettete Systeme und Kommunikationstechnik ESK. www.esk.fraunhofer.de/content/dam/esk/dokumente/Whitepaper%20IoT_final.pdf [20.04.2016]
- IIC 2015 INDUSTRIAL INTERNET CONSORTIUM, Industrial Internet Reference Architecture. Version 1.7. S. 20, Abb. 4-1., 2015

Kagermann et al. 2013 KAGERMANN, H., WAHLSTER, W., HELBIG, J., Deutschland als Produktionsstandort sichern, Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0., 2013

Köster 2014 KÖSTER, O., Systematik zur Entwicklung von Geschäftsmodellen in der Produktentstehung. Paderborn: Heinz-Nixdorf-Institut., 2014

Osterwalder et al. 2010 OSTERWALDER, A., PIGNEUR, Y., Business Model Generation. – In: John Wiley & Sons., 2010

Osterwalder et al. 2014 OSTERWALDER, A., PIGNEUR, Y., BERNARDA, G., SMITH, A., Value Proposition Design. Strategyzer., 2014

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Verortung der AUTONOMIK-Projekte in RAMI	6
Abbildung 2	Steuerungsarchitektur	17
Abbildung 3	Mechatronische Architektur	17
Abbildung 4	Funktionale Architektur einer Maschinenzelle	18
Abbildung 5	OPAK und RAMI 4.0	19
Abbildung 6	CoCoS ermöglicht eine durchgängige Daten-Integration, die sowohl die Vernetzungs- als auch die Dienstinfrastruktur umfasst.	21
Abbildung 7	RAMI 4.0	22
Abbildung 8	Systemstruktur von MANUSERV	25
Abbildung 9	Einordnung des MANUSERV-Konzepts in das Schichtenmodell von RAMI 4.0	26
Abbildung 10	Ein Arbeitsplatz benutzt AlaaS um projiziertes Montagefeedback zur Werkerassistenz einzublenden.	30
Abbildung 11	Nutzung der Montagezelle bei der Firma Audi während einer Langzeitstudie	31
Abbildung 12	Geschäftsschicht	35
Abbildung 13	Funktionsschicht	35
Abbildung 14	Informationsschicht	36
Abbildung 15	Kommunikationsschicht	36
Abbildung 16	Integrationsschicht	36
Abbildung 17	Gegenstandsschicht	36
Abbildung 18	Geschäftsschicht (links) und Funktionsschicht (rechts)	37
Abbildung 19	Use-Case im Projekt InnoCyFer	38
Abbildung 20	RAMI 4.0 Referenzarchitektur	39
Abbildung 21	Ebenen spezifische Einordnung.	40
Abbildung 22	Big Picture GEMINI – Mit Fokus auf dem Schaffen von Wissen und der Entwicklung und Einführung von Instrumenten zur Geschäftsmodellentwicklung	41
Abbildung 23	Die GEMINI Business Model Canvas	43

Autorenkontakte

Inessa Seifert

Institut für Innovation + Technik in der VDI/WDE-IT
Steinplatz 1
10623 Berlin
seifert@iit-berlin.de

Prof. Dr.-Ing Reiner Anderl

Technische Universität Darmstadt
Otto-Berndt-Str. 2, 64283 Darmstadt
anderl@dik.tu-darmstadt.de

Dr. Lutz Jänicke

Product & Solution Security Officer, Phoenix Contact Cyber Security AG,
Plattform Industrie 4.0/AG3 Sicherheit vernetzter Systeme
Rudower Chaussee 13, 2489 Berlin
ljaenicke@phoenixcontact.com

Benjamin Brandenbourger

fortiss GmbH
Guerickestr. 25
80805 München
brandenbourger@fortiss.org

Johannes Hoos

Festo AG & Co. KG
Ruiter Strasse 82
73734 Esslingen
johannes.hoos@festo.com

Michael Doering

Corporate Research, Communication Technology (CR/AEH4)
Robert Bosch GmbH | Renningen | 70465 Stuttgart | GER-MANY | www.bosch.com
Michael.Doering2@de.bosch.com

Frank Heinze, Miro Tunk, André Hengstebeck, Jürgen Roßmann, Jochen Deuse, Bernd Kuhlenkötter
RIF Institut für Forschung und Transfer e.V.
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 20, 44227 Dortmund
{Vorname}.{Name}@rt.rif-ev.de

ICARUS Consulting GmbH

Friedrich-Penseler-Straße 10, 21337 Lüneburg,
miro.tunk@icarus-consult.de

Romina Kettner, Thomas Kosch, Markus Funk, Albrecht Schmidt

Universität Stuttgart
Human Computer Interaction Group (MCI)
Institute for Visualization and Interactive Systems (VIS)
Stuttgart Research Center for Simulation Technology (SRC SimTech)
Pfaffenwaldring 5a, 70569 Stuttgart

Carsten Ullrich

Center for Learning Technology (CeLTech) im
Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI GmbH)
DFKI Projektbüro Berlin
Alt-Moabit 91c
10559 Berlin
carsten.ullrich@dfki.de

Susanne Vernim

iwb - TU München
Boltzmannstraße 15
85748 Garching
Susanne.Vernim@iwb.tum.de

Gudrun Tschirner-Vinke

Atos IT Solutions and Services GmbH
Fürstenallee 11
33102 Paderborn,
gudrun.tschirner-vinke@atos.net

