PAiCE

REFERENZ-ARCHITEKTUR-MODELLE FÜR INDUSTRIE 4.0, SMART MANUFACTURING UND IOT

EINE EINFÜHRUNG

Impressum

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

Autoren
Dr. Jörg Megow, DIN

Gestaltung
Loesch*Hund*Liepold
Kommunikation GmbH
Hauptstraße 28 | 10827 Berlin
paice@lhlk.de

Stand
April 2020

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

Einleitung 4

1 Referenzarchitekturmodelle für Industrie 4.0 6
1.1 RAMI 4.0 6
1.2 NIST Smart Manufacturing Ecosystem 8
1.3 IMSA 9
1.4 Big Picture 10
1.5 IVRA 11
1.6 Metamodell von ISO und IEC 11
1.7 IIRA/ IIC IIoT 11
1.8 IoT Reference Architecture 13
1.9 Allgemeine Referenzmodelle für das Internet of Things 13

2 Wichtige Industrie- und Konsortialstandards für Industrie 4.0 14
2.1 Verwaltungsschale 14
2.2 OPC UA 15
2.3 AutomationML 16

3 Diskussion und Ausblick 17

4 Literaturverzeichnis 18

Einleitung

Den gesamten Lebenszyklus eines Produktes als umfassendes Modell darstellen zu können, wird durch die Digitalisierung der industriellen Produktion immer wichtiger. Modelle reduzieren komplexe Wirklichkeiten auf das Wesentliche und ermöglichen es so, funktionelle Repräsentationen komplexer Strukturen und Vorgänge zu erstellen. Die Komplexität von Produktlebenszyklen nimmt vor allem dadurch zu, dass Entwickler, Hersteller, Zulieferer und Kunden sowohl in der Produktentwicklung als auch in der Fertigung zukünftig noch stärker vernetzt sein werden. Dabei wird es nicht mehr ausreichen, nur paarweise Vernetzungen zu modellieren. Es muss die industrielle Produktion als Gesamtsystem modelliert werden, da die meisten Systemkomponenten indirekt vernetzt sind. Das Ziel einer solchen umfassenden Modellierung ist letztlich die Steigerung der Flexibilität im Fertigungsprozess bis zur möglichen Reduzierung der minimalen Stückzahl eines Produktes auf die Stückzahl eins (vgl. Heidel et al. 2017).

Im vergangenen Jahrzehnt wurden verschiedene Begriffe benutzt und geprägt, die im Zusammenhang mit der Digitalisierung der industriellen Produktion stehen: Smart Manufacturing, Industrie 4.0, IoT (Internet of Things, dt. Internet der Dinge) und IIoT (Industrial Internet of Things, dt. Industrielles Internet der Dinge) (vgl. Li et al. 2018). In den vergangenen Jahren wurden zu Industrie 4.0, Smart Manufacturing, IoT und IIoT diverse Referenzmodelle für Systemarchitekturen, sogenannte Referenzarchitekturmodelle, veröffentlicht. In welchem Zusammenhang stehen diese Modelle? Und welchen Vorteil bietet die Anwendung eines Referenzarchitekturmodells?

Ein Referenzmodell ist ein allgemein genutztes, als zweckmäßig anerkanntes Modell, auf dessen Basis spezifische Modelle abgeleitet werden können (vgl. DIN SPEC 91345:2016-04). Aus einem (allgemeinen) Referenzarchitekturmodell lassen sich nach dieser Definition spezifische Modelle für Systemarchitekturen ableiten. Welchen Mehrwert aber hat ein Unternehmen, Konsortium oder Forschungsprojekt von der Darstellung der eigenen Prozesse in einem solchen Modell? Ein Referenzmodell hilft, effektiv Systemarchitekturen abzuleiten. Systemarchitekturen stellen zwischen verschiedenen Akteuren (z. B. Entwickler, Hersteller, Zulieferer und Betreiber etc.) eine gemeinsame Begriffswelt und Ordnungsstruktur für verschiedene technische Systeme mit zum Teil sehr unterschiedlichen Nomenklaturen bereit, indem sie eine uniforme virtuelle Repräsentation von technischen Gegenständen (Assets) schaffen. Voraussetzung dafür ist die allgemeine Anwendbarkeit des Referenzmodells auf alle relevanten Assets und Prozesse im jeweiligen Umsetzungsprojekt. Ein Referenzarchitekturmodell erleichtert zudem die Übersicht über relevante Normen und Standards, welche sich ebenfalls in dieses Modell einordnen lassen.

In Kapitel 2 betrachten wir aktuelle Referenzarchitekturmodelle für Industrie 4.0 bzw. Smart Manufacturing und für IoT/IIoT. Der Begriff Industrie 4.0 wird dabei hauptsächlich in Deutschland im Zusammenhang mit der Digitalisierung der industriellen Produktion verwendet.[1] Im Ausland hat sich eher der Begriff Smart Manufacturing etabliert.

Wenn industrielle Komponenten große IoT/IIoT-Systeme formen, ist eine verlässliche Kommunikation bzw. eine nahtlose und kosteneffiziente Wechselwirkung der einzelnen Teile entscheidend (vgl. Lin et al. 2017). IoT/IIoT sind daher die Grundlage für eine voll digitalisierte industrielle Produktion. Nichtsdestotrotz gibt es wesentliche Unterschiede zwischen den Referenzarchitekturmodellen für Industrie 4.0 und denen für IoT/IIoT. Diese Unterschiede liegen hauptsächlich darin begründet, dass die Begriffe IoT/IIoT unter anderem auch die Felder Energie, Gesundheitswesen, industrielle Produktion, öffentlicher Bereich und Transport abdecken und daher mehr Wert auf Interoperabilität legen, während das Konzept Industrie 4.0 den Fokus eher auf eine effektive industrielle Produktion setzt (vgl. Lin et al. 2017).

Vorgestellt werden solche Referenzarchitekturmodelle für Industrie 4.0 und für IIoT, die international bekannt sind und angewendet werden. Die tatsächliche Verbreitung der einzelnen Modelle ist exakt allerdings kaum zu ermitteln. Es gilt aber die Faustformel, dass die Modelle in dem Land, in dem sie jeweils entwickelt bzw. vorgeschlagen wurden, stärker verbreitet sind als anderswo. So ist das auch international geläufige Referenzarchitekturmodell RAMI 4.0 das wohl bekannteste Referenzarchitekturmodell für Industrie 4.0 in Deutschland. Aufgrund der Tatsache, dass mittlerweile auch einige deutsche Unternehmen im Industrial Internet Consortium (IIC) vertreten sind, findet das dort entwickelte Referenzmodell IIC IIoT zunehmend auch in Deutschland Beachtung.

Kapitel 3 stellt das für die Implementierung von Industrie 4.0-Modellen elementare Konzept der Verwaltungsschale und zwei in diesem Kontext bedeutsame Industrie- und Konsortialstandards vor: OPC Unified Architecture (OPC UA) und AutomationML.

In Kapitel 4 beantwortet zusammenfassend die Fragen, warum die Referenzmodelle teilweise so unterschiedlich sind und welches Modell für welchen Zweck am besten geeignet ist.

1 Industrie 4.0 wurde ursprünglich als ein Projekt der Hightech-Strategie der Bundesregierung im Jahr 2012 auf den Weg gebracht. 2013 gründeten die Verbänden BITKOM, VDMA und ZVEI die Plattform Industrie 4.0, die mittlerweile unter der Leitung von BMWi und BMBF steht und an der zahlreiche Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft, Gewerkschaften und Verbänden mitarbeiten.

1 Referenzarchitekturmodelle für Industrie 4.0

Die meisten Referenzarchitekturmodelle für Industrie 4.0, die in diesem Papier beschrieben werden, setzen auf der sogenannten „Automatisierungspyramide" auf, welche die verschiedenen Ebenen der Informationstechnik in der industriellen Fertigung illustriert (vgl. IEC 62264). Das reicht von der Unternehmensebene, auf der ERP-Software (Enterprise Resource Planning) die grundlegenden Prozesse in Einkauf, Produktion und Vertrieb planen und steuern, über die Betriebsleitebene, wo in Manufacturing Execution Systems (MES) konkret der Einsatz von Personal, Maschinen und Material gelenkt wird, bis hin zu den Prozessleit- und Steuerungsebenen, wo tatsächlich die Maschinen überwacht und gesteuert werden (siehe Abbildung 1).

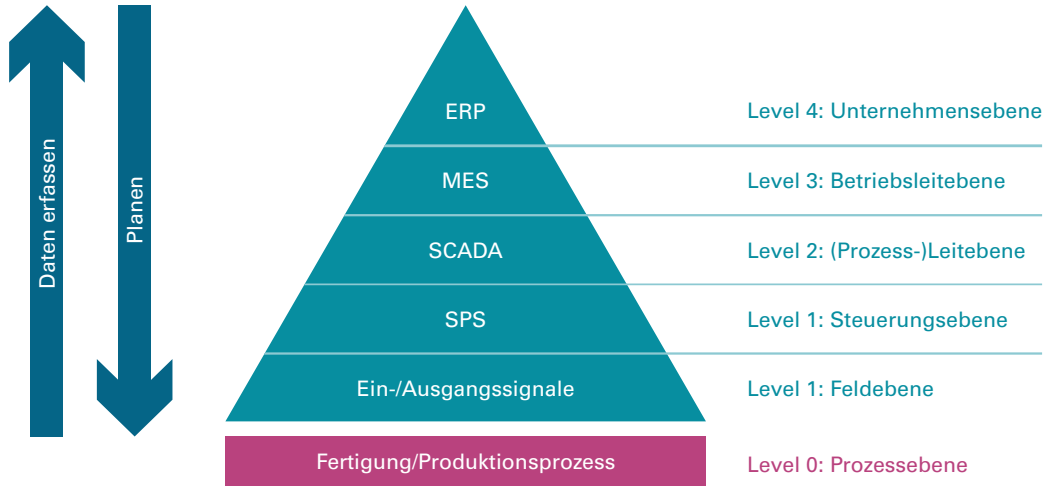

Abbildung 1: Die Automatisierungspyramide erlaubt die Zuordnung von IT-Systemen zu den verschiedenen Ebenen der industriellen Produktion (nach Gunther Reinhart (Hg.): Handbuch Industrie 4.0: Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik, Hanser: München 2017)

1.1 RAMI 4.0

Bei der Referenzarchitektur Industrie 4.0 (RAMI 4.0) handelt es sich um ein Referenzarchitekturmodell, das im Wesentlichen von Mitgliedern der Plattform Industrie 4.0 entwickelt wurde und über die DIN SPEC 91345:2016 national sowie über die IEC/PAS 63088:2017 international Einzug in die Standardisierung erhielt. Es beschreibt ein Referenzmodell für die Architektur von technischen Komponenten (Assets), welches deren Beschreibung und Lebenslauf sowie deren Zuordnung zu technischen, aber auch zu organisatorischen Hierarchien, ermöglicht (vgl. DIN SPEC 91345:2016-04). Jedes Asset, welches in einem Unternehmen im Rahmen der Fertigung Verwendung findet, lässt sich daher in RAMI 4.0 einordnen. Die Einordnung aller relevanten Assets in das Modell erlaubt sowohl eine virtuelle Repräsentation dieser Assets als auch eine uniforme, virtuelle, effiziente Beschreibung aller relevanten Prozesse, Standards und Normen und liefert damit letztlich die Grundlage für Industrie 4.0.

Das Modell umfasst drei Dimensionen zur Beschreibung der Assets über

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

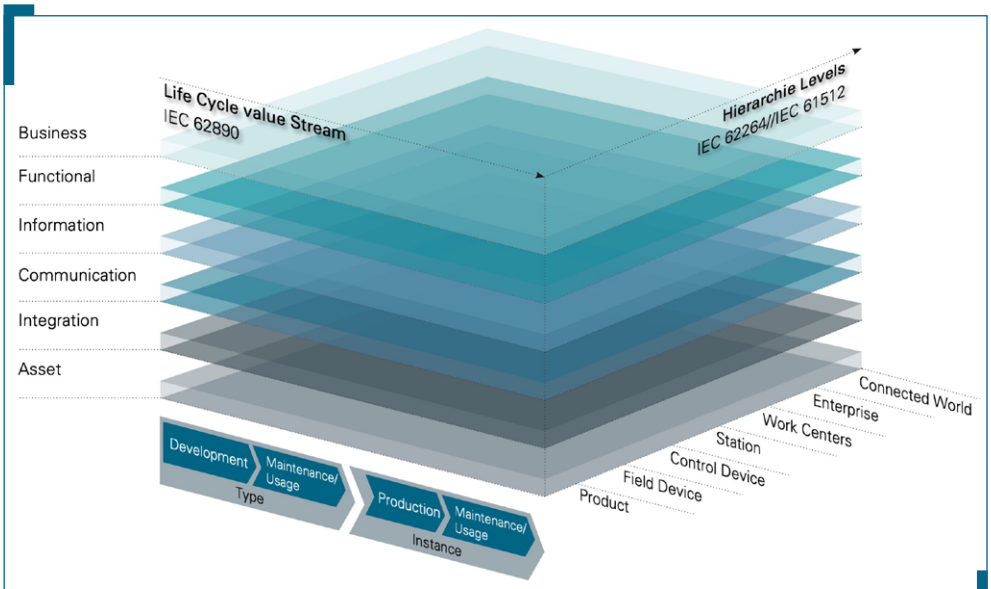

Abbildung 2: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) (Quelle: Plattform Industrie 4.0).

Dreidimensionale Schichtenmodelle wie RAMI 4.0 erlauben es, dass jedes in das Modell eingeordnete Asset, also jede technische Komponente, in drei Dimensionen mit den direkten Nachbarn gekoppelt ist.

RAMI 4.0 orientiert sich sowohl entlang der Hierarchie-Achse (vgl. IEC 62264 und IEC 61512), als auch entlang der Lebenszyklus-Achse (vgl. IEC 62890 ED1:2016) an internationalen Standards. Dabei kann jede Kombination von Assets wieder ein Asset sein kann. Das zusammengesetzte Asset liegt dann „höher" auf der Hierarchie-Achse. Die Komponenten einer Maschine sind beispielsweise Assets, und die aus ihnen zusammengesetzte Maschine ist wiederum ein Asset. So ist eine CNC-Fräse mit Kugelumlaufspindel ein Asset, die Kugelumlaufspindel ist aber ebenso selbst ein Asset.

Grundsätzlich lässt sich jedes Asset eines Unternehmens entsprechend dem jeweiligen Zeitpunkt seines Lebenszyklus in die Hierarchie-Lebenszyklus-Ebene einordnen. Entlang der Architektur-Achse bilden die sogenannten Layer die sechs Schichten des dreidimensionalen Schichtenmodells. In den verschiedenen Schichten Asset (technische Komponente), Integration (Integration), Communication (Kommunikation), Information (Information),

Functional (Funktionalität) und Business (betriebswirtschaftliche Sicht) werden die jeweils relevanten Informationen betrachtet. Die Asset-Schicht umfasst die Elemente der physischen Welt, während die anderen fünf Schichten die virtuelle Welt repräsentieren. Die Integration-Schicht enthält im Wesentlichen Informationen über Voraussetzungen und Zustände der physischen Welt sowie für das Asset relevante digitale Informationen (z. B. Firmware). Die Communication-Schicht beschreibt die Fähigkeiten eines Assets, Informationen auszutauschen. Wichtige Informationen für die Funktionen eines Assets werden in der Information-Schicht repräsentiert, während die Functional-Schicht die Funktionalitäten selbst umfasst. Die Business-Schicht repräsentiert letztlich alle betriebswirtschaftlichen Aspekte eines Assets.

Ein in das Modell einzuordnendes Asset wird je nach Hierarchiegrad und Lebenszyklus in die Hierarchie-Lebenszyklus-Ebene eingeordnet, also in ein vergleichsweise einfaches, grobes diskretes Modell. Die Beschreibung des Assets in der sogenannten Verwaltungsschale (in welcher reale und virtuelle Welt miteinander verknüpft sind; genauere Erläuterungen dazu finden sich in Abschnitt 0) kann dann je nach Asset sehr ausführlich sein (vgl. DIN SPEC 91345:2016-04). Die Struktur von RAMI 4.0 selbst ist sehr allgemein gehalten, um möglichst für alle denkbaren Assets im Umfeld von Industrie 4.0 einsetzbar zu sein.

RAMI 4.0 ist ein auch im Ausland bekanntes Referenzarchitekturmodell, weshalb es im Folgenden als Referenz genutzt wird.

1.2 NIST Smart Manufacturing Ecosystem

Das National Institute of Standards and Technology (NIST), eine Bundesbehörde der USA, hat im letzten Jahrzehnt Referenzarchitekturen zu verschiedensten Themenbereichen der Informationstechnologie, von Cloud Computing bis Big Data entwickelt und publiziert. Das von NIST publizierte Smart Manufacturing Ecosystem (August 2015) beinhaltet bereits die Idee einer mehrdimensionalen Darstellung von Industrie 4.0, es gibt aber große Unterschiede zu RAMI 4.0 und den im Folgenden beschriebenen dreidimensionalen Schichtenmodellen (vgl. Lu et al. 2015). Im NIST-Modell haben die Dimensionen product (Produkt), production (Produktion) und business (Geschäft) ihren eigenen Lebenszyklus und treffen in der (eindimensionalen) Automatisierungspyramide aufeinander, siehe Abbildung 3. Tatsächlich lässt sich das NIST-Modell auf die dreidimensionalen Schichten-Modelle abbilden (RAMI 4.0 enthält das NIST-Modell schon über den Asset- und den Business-Layer). Andersherum lassen sich die dreidimensionalen Schichtenmodelle jedoch nicht vollständig auf das NIST-Modell abbilden, da in ihnen mehr Beschreibungsebenen enthalten sind (Integration, Kommunikation usw.).

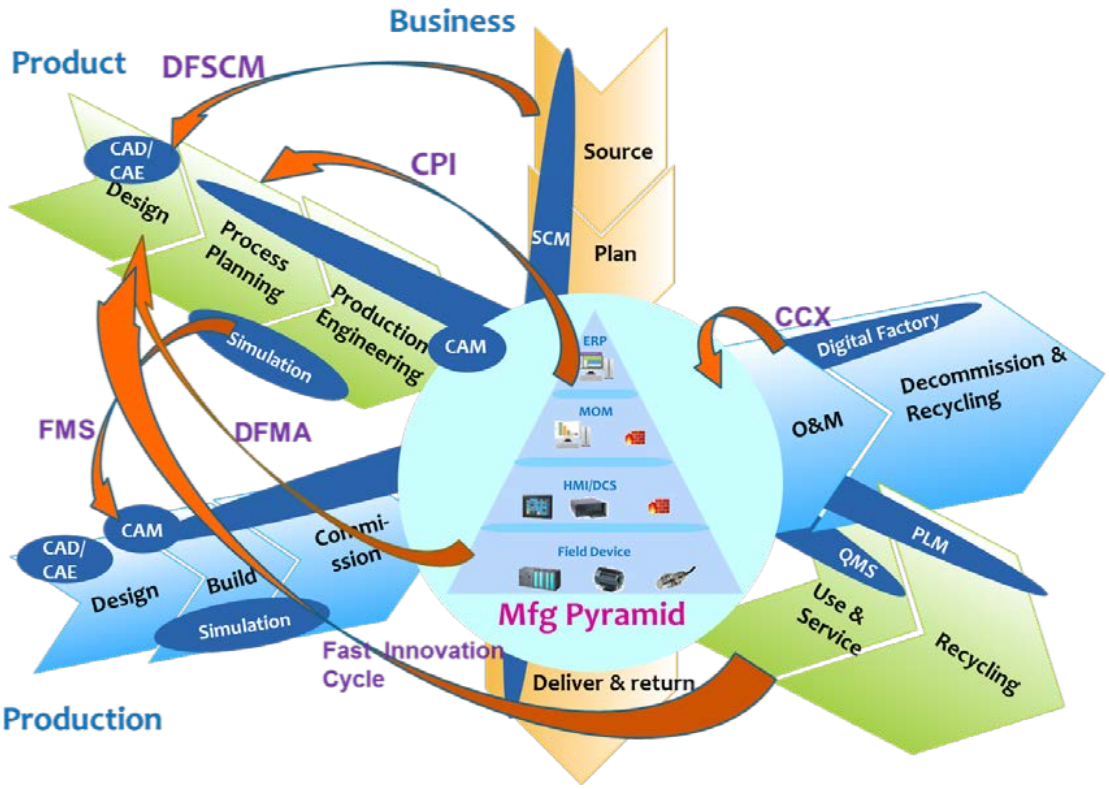

Abbildung 3 Das Smart Manufacturing Ecosystem des NIST (Quelle: NIST)

1.3 IMSA

Die Entwicklung des Architekturmodells IMSA (China Intelligent Manufacturing System Architecture) folgte dem von der chinesischen Führung entwickelten strategischen Plan „Made in China 2025“. Als Ziel dieses Planes, welcher vom deutschen Projekt Industrie 4.0 inspiriert war, kann die umfassende Aufwertung der chinesischen Industrie betrachtet werden (vgl. Kennedy 2015).

IMSA wurde am 30. Dezember 2015 veröffentlicht. Es handelt sich ebenfalls um ein dreidimensionales Schichtenmodell mit den Dimensionen lifecycle (Lebenszyklus), system hierarchy (Systemhierarchie) und intelligent functions (Intelligente Funktionen) (vgl. Wie et al. 2017).

IMSA erinnert im Aufbau stark an RAMI 4.0. Der wesentliche Unterschied liegt darin, dass RAMI 4.0 die Lebenszyklusachse in Entwicklung und Produktion aufteilt, was eine unabhängige Betrachtung dieser beiden Phasen ermöglicht. Das ist in IMSA nicht der Fall. Beide Modelle lassen sich dennoch sehr gut aufeinander abbilden. (vgl. BMWi 2018)

1.4 Big Picture

Ein Gesamtüberblick über die Normen (The Big Picture of Standards) zu Automatisierungssystemen und Integration wurde im Technical Report TR 23087 (vgl. ISO/TR 23087:2018-03) der internationalen Normungsorganisation ISO (International Organization for Standardization) gegeben. An der Erarbeitung dieses Technical Reports waren insbesondere die französische Normungsorganisation AFNOR und die französische Elektrizitätsgesellschaft EDF (Électricité de France) intensiv beteiligt. In diesem Dokument werden im Wesentlichen Normen und Standards eingeordnet, welche von den Technischen Komitees TC 184 (Automatisierungssysteme und Integration) der ISO und TC 65 (Leittechnik für industrielle Prozesse) der internationalen Normungsorganisation IEC (International Electrotechnical Commission) erarbeitet wurden.

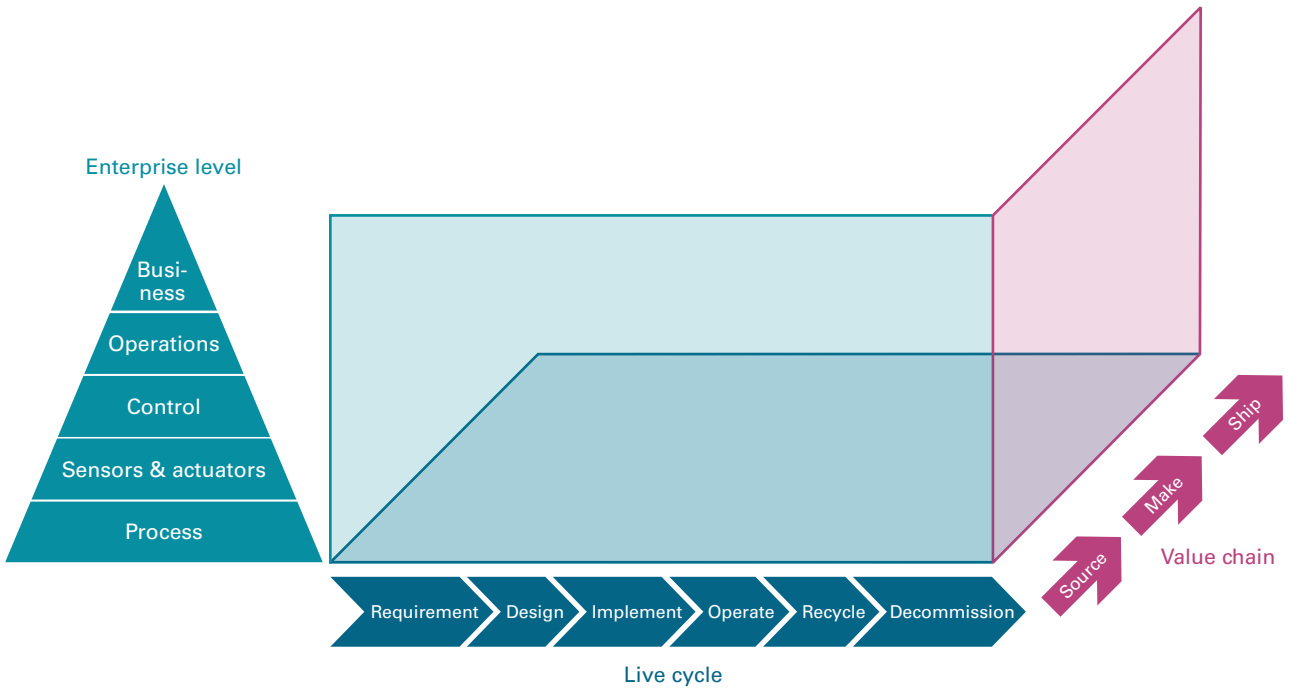

Abbildung 4: Die Beschreibungsachsen im Big Picture (Quelle: ISO/TR 23087)

Big Picture ist ein dreidimensionales Schichtenmodell mit den Achsen Enterprise level (Unternehmensebene, vergleichbar zu den Ebenen der Automatisierungspyramide), Value chain (Wertschöpfungskette) und Life cycle (Lebenszyklus), siehe Abbildung 4. Die Lebenszyklus-Achse ist vergleichbar mit der von RAMI 4.0. Das Enterprise level hat Ähnlichkeiten mit den Schichten (Architekturachse), aber auch mit dem Hierarchielevel in RAMI 4.0. So gibt es ein Enterprise level business (Geschäft), aber auch ein Enterprise level sensors and actuators (Sensoren und Antriebe). Die Achse Value chain beinhaltet die Werte Source (Lieferkette), Make (Produktion), Ship (Verkauf) bzw. Whole (alle drei). Auch diese Werte haben sowohl zu einzelnen Schichten der Architekturachse als auch zum Hierarchielevel in RAMI 4.0 Ähnlichkeit. Die Modell-Ebene der Achsen Enterprise level/Value chain in Big

Picture lässt sich somit auf die Modell-Ebene der Achsen Architektur/Hierarchie in RAMI 4.0 abbilden. Da die Lebenszyklus-Achse beiden Modellen gemein ist, lassen sich die Modelle demnach vollständig aufeinander abbilden. Dies ist insbesondere interessant bei der Auseinandersetzung mit einem möglichen Metamodell der bestehenden Referenzarchitekturmodelle zu Smart Manufacturing. Big Picture kann somit die gleichen Assets und Prozesse wie RAMI 4.0 beschreiben, betrachtet diese jedoch aus einer anderen Perspektive. Es wäre somit eine sehr lohnenswerte Arbeit, die in ISO/TR 23087:2018 eingeordneten Normen und Standards in RAMI 4.0 einzuordnen, denn die Verortung aktueller Normen und Standards im Referenzarchitekturmodell der Wahl ist ein wichtiger Schritt, welcher in Big Picture bereits erreicht wurde. (vgl. ISO/TR 23087:2018-03)

1.5 IVRA

Die Industrial Value Chain Reference Architecture (IVRA) wurde 2016 von der Industrial Value Chain Initiative (IVI) veröffentlicht, einem Konsortium wichtiger japanischer Unternehmen wie Mitsubishi Electric, Fujitsu, Nissan Motor und Panasonic (vgl. IVI 2016). Bei IVRA handelt es sich ebenfalls um ein dreidimensionales Referenzarchitekturmodell. Im Zentrum von IVRA steht das dreidimensionale Modell einer Smart Manufacturing Unit. Diese enthält die Achsen Activity View, Management View und Asset View. An dieser Einteilung wird deutlich, dass Informationen in IVRA anders angeordnet werden als in RAMI 4.0. Auf der Hannover-Messe 2018 wurde der Nachfolger IVRA Next vorgestellt, welcher weiterhin auf der Smart Manufacturing Unit basiert. (vgl. IVI 2018)

1.6 Metamodell von ISO und IEC

Eine gemeinsame Joint Working Group 21 (JWG 21) von ISO und IEC hat seit 2017 die Harmonisierung existierender Referenzmodelle zu Industrie 4.0 bzw. Smart Manufacturing zum Ziel. In der JWG 21 sitzen Vertreterinnen und Vertreter zahlreicher Nationen, inklusive solcher aus den großen Industrienationen USA, China, Japan, Deutschland und Frankreich. Die beiden Obmänner der JWG 21 kommen aus den USA bzw. aus Japan. Entsprechend der Zeitskalen in der internationalen Normung kann im Jahr 2020 die Veröffentlichung des Entwurfs eines ersten Arbeitsergebnisses erwartet werden.

1.7 IIRA/IIC IIoT

Das Industrial Internet Consortium (IIC) hat ein Referenzarchitekturmodell zu Industrial Internet of Things (IIoT) erarbeitet. Das IIC wurde 2014 von AT&T, Cisco, General Electric, IBM und Intel mit dem Ziel gegründet, die Integration von physischer und virtueller Welt zu vereinfachen und hat heute mehr als 200 Mitglieder, darunter mittlerweile auch einige große deutsche Unternehmen. Die Mitglieder des IIC kommen aus den Bereichen Gesundheitswesen, Transport, Energie, Infrastruktur im öffentlichen Bereich und Produktion (vgl. Lin et al. 2017). Der breite Hintergrund der IIC-Mitglieder spiegelt auch die offenere Bedeutung des englischen Begriffs industry wider, mit dem auch Wirtschaftsbranchen gemeint sind.

Zunächst veröffentlichte das IIC im Juni 2015 die Industrial Internet Reference Architecture (IIRA); siehe (vgl. IIC 2015). Im Januar 2017 wurde die IIRA dann als The Industrial Internet Consortium: Industrial Internet of Things (IIC IIoT) neu veröffentlicht (vgl. Lin et al. 2017).

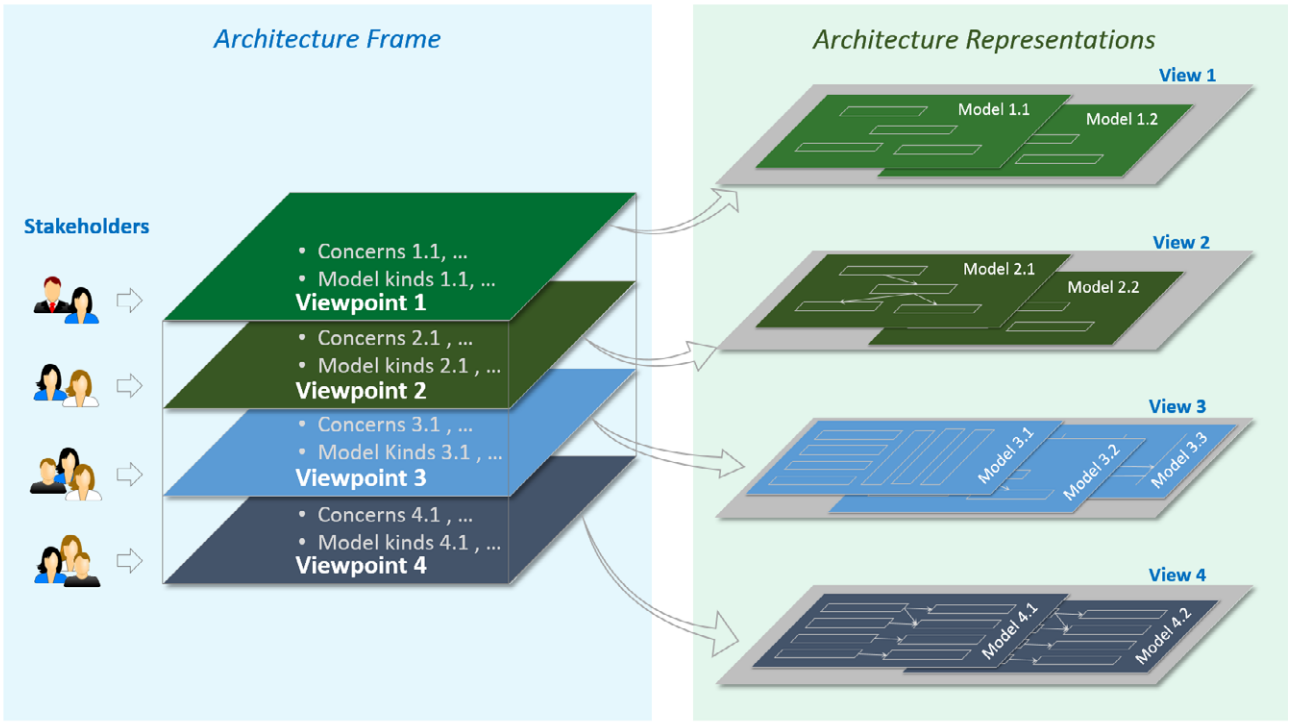

Abbildung 5: Die Viewpoints im IIC IIoT (Quelle: IIC)

IIC IIoT hat gewisse Ähnlichkeiten mit den dreidimensionalen Schichtenmodellen, die im Bereich Industrie 4.0 bzw. Smart Manufacturing Anwendung finden. Es gibt aber auch sehr wesentliche Unterschiede. Zunächst lassen sich die Viewpoints (Sichten) gut auf die Schichten der Architektur-Achse in RAMI 4.0 abbilden, siehe Abbildung 5. IIC IIoT hat vier Sichten: business viewpoint (geschäftliche Sichten), usage viewpoint (Nutzersicht), functional viewpoint (funktionale Sicht), implementation viewpoint (Implementierungssicht). Der Aufbau der einzelnen Sichten innerhalb von IIC IIOT unterscheidet sich erheblich. Die Sichten selbst werden implizit über System-Charakteristiken zu Zuverlässigkeit und sogenannte crosscutting functions (bereichsübergreifende Funktionen) verknüpft. Beispiele für crosscutting functions sind Konnektivität und Datenmanagement, die jeweils alle Sichten betreffen und diese somit verknüpfen. Für jeden industriellen Sektor ist nach IIC IIoT ein eigener Lebenszyklus zu definieren (19).

1.8 IoT Reference Architecture

Die internationalen Normungsorganisationen ISO und IEC haben im gemeinsamen Joint Technical Committee JCT 1, subcommittee 41, Internet of things and related technologies, seit 2018 die IoT Reference Architecture (IoT RA) in der Norm ISO/IEC 30141 erarbeitet. (vgl. ISO/IEC 30141:2018-08) Die IoT RA enthält unter anderem ein IoT Reference Model, das nicht mit dem Modell der Standardisierungsabteilung der Internationalen Fernmeldeunion (ITU-T) zu verwechseln ist (siehe nächster Abschnitt).

Die Views (Sichten) der IoT RA lassen sich auf die Sichten von IIC IIoT abbilden. Die Sichten von IoT RA sind (IIC-IIoT- Sichten in Klammern): functional view (functional viewpoint), system deployment view (implementation viewpoint), networking view (business viewpoint) und usage view (usage viewpoint).

Die characteristics of IoT systems (Charakteristiken von IoT-Systemen) der IoT RA lassen sich auf die bereichsübergreifenden Funktionen, beziehungsweise die Systemcharakteristiken der IIC IIoT abbilden. Die Standpunkte zur Funktionalität sind in beiden Modellen ebenfalls sehr ähnlich strukturiert.

1.9 Allgemeine Referenzmodelle für das Internet of Things

Andere, ebenfalls häufiger erwähnte Referenzmodelle haben einen deutlich breiteren Anwendungsfokus und sind damit für Industrie 4.0 bzw. Smart Manufacturing nur am Rande interessant: Das IoT-A Architectural Reference Mode, welches vom Projekt IoT-A aus dem 7. Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Kommission erarbeitet wurde; die AIOTI Reference Architecture der The Alliance for Internet of Things Innovation (AIOTI), einer Initiative der Europäischen Kommission; und die ARVIDA Reference Architecture des BMBF geförderten Projekts ARVIDA (vgl. Leukert et al. 2016 und ARVIDA 2020).

Die internationale Normungsorganisation International Telecommunication Union's Telecommunication Standardization Sector (ITU-T), die sich primär mit der Telekommunikation beschäftigt, hat in ihrer Study Group 13 das Dokument „Overview of the Internet of things" erarbeitet (vgl. ITU-T Y.2060:2012-06). Der Standard definiert unter anderem das IoT Reference Model (IoT RM), welches naheliegenderweise den Fokus auf Kommunikationsaspekte legt.

2 Wichtige Industrie- und Konsortialstandards für Industrie 4.0

In der aktuellen Diskussion zu Industrie 4.0 gibt es mehrere Standards, die gerade neu entwickelt werden und für die Vernetzung von Maschinen und Komponenten essenziell sind.

2.1 Verwaltungsschale

Ein wichtiges Element im Kontext von RAMI 4.0 war von Beginn an die Industrie-4.0-Komponente, welche parallel zu RAMI 4.0 von der Plattform Industrie 4.0 entwickelt wurde und neben dem Referenzarchitekturmodell RAMI 4.0 selbst standardisiert wurde (vgl. DIN SPEC 91345:2016-04). Diese Industrie-4.0-Komponente besteht aus dem Asset der physischen Welt und der sogenannten Verwaltungsschale, welche somit ein Asset der physischen Welt charakterisierenden Merkmale für die Informationswelt bereitstellt. Die Standardisierung der Verwaltungsschale wird von der Plattform Industrie 4.0 und dem ZVEI vorangetrieben. Die Verwaltungsschale selbst besteht aus Header und Body (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: Die Struktur der Verwaltungsschale (Quelle: DIN)

Eine Liste von Merkmalen im Header ermöglicht die Identifikation und Bezeichnung der Verwaltungsschale sowie konkreter Gegenstände und verweist gegebenenfalls auf ausgewählte Fähigkeiten der Gegenstände.

Im Body werden einzelne Teilmodelle innerhalb der Verwaltungsschale verwaltet. In diesen Teilmodellen sind inhaltliche, beschreibende oder funktionale Aspekte (bspw. Identifikation oder Informationssicherheit) beschrieben. Jedes Teilmodell verfügt über eine strukturierte Anzahl an Merkmalen, welche auf individuelle Daten und Funktionen referenzieren.

Verwaltungsschalen, Gegenstände, Teilmodelle und Merkmale müssen eindeutig identifiziert werden, um eine verbindliche Semantik zu gewährleisten. Als globale Identifikatoren sind ISO 29002-5 (z. B. eCl@ss und IEC Common Data Dictionaries) und URIs (Unique Resource Identifiers) zugelassen (vgl. DIN SPEC 91345:2016-04).

2.2 OPC UA

Im Jahr 1996 veröffentlichte die OPC Foundation, ein Industriekonsortium US-amerikanischer Unternehmen, erstmals den zunächst auf Windows-Systeme beschränkten Standard OPC (vgl. OPC 2020). Die Abkürzung bezog sich ursprünglich auf das von Windows entwickelte Objektsystem und Protokoll OLE (engl. Object Linking and Embedding, Objekt-Verknüpfung und Einbettung); OPC bezeichnete folglich die Objekt-Verknüpfung und Einbettung in die Prozessüberwachung (engl. OLE for Process Control). Heute steht OPC für Open Platform Communication.

Mit der Einführung serviceorientierter Architekturen entstanden neue Anforderungen an die IT-Systeme in der Produktion hinsichtlich Informationssicherheit und Datenmodellierung, denen die OPC Foundation mit der Entwicklung des OPC UA (OPC Unified Architecture) Standards begegnete. OPC UA ist ein offener, plattformunabhängiger Schnittstellenstandard, der sich zunehmend für die Industrie-4.0-Kommunikation etabliert (vgl. DIN EN IEC 62541). Darüber hinaus umfasst OPC UA Datenmodelle und Interaktionskonzepte und erlaubt die Erstellung von Geräte- und Fähigkeitsbeschreibungen in Form von Informationsmodellen (vgl. Angeli, Carsten et al. 2019). Branchenspezifisch standardisierte Informationsmodelle werden dabei als Companion Specifications bezeichnet (vgl. VDMA / Fraunhofer IOSB-INA 2017).

Von besonderer Relevanz für Smart Manufacturing ist die OPC UA Companion Specification Robotik, welche anstrebt, die Robotik in Industrie 4.0-Konzepte zu integrieren. Der erste Teil der Reihe – die VDMA Companion Specification 40010-1 – liegt bereits als Entwurf vor (VDMA 40010-1:2019-07). Inhalt des ersten Teils sind die Themen Zustandsdatenerfassung (Condition Management), Asset Management, vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance) und vertikale Integration. Basisspezifikationen werden festgelegt, konkret wird dabei ein Informationsmodell definiert, das alle Robotiksysteme (Service-Roboter, mobile Roboter usw.) abdecken soll.

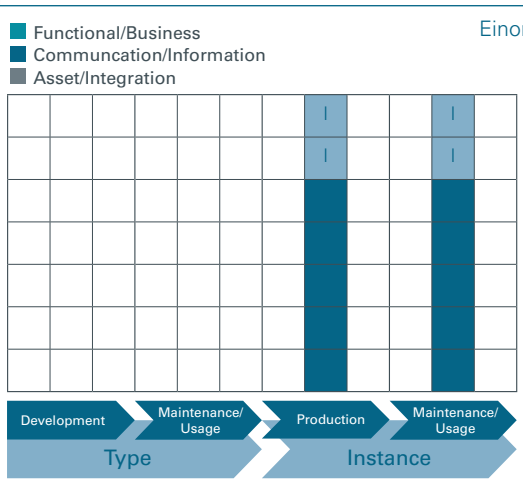

Abbildung 7: Einordnung von OPC UA in RAMI 4.0

OPC UA ist im Communication Layer auf allen Ebenen der Hierarchie-Achse von RAMI 4.0 einzuordnen, da OPC UA sowohl in kleinsten Sensoren als auch für die fabrikübergreifende Kommunikation (Connected World) angewendet werden kann (vgl. VDMA / Fraunhofer IOSB-INA 2017). Erweiterte Informationsmodelle und OPC UA Companion Specifications hingegen sind dem Information Layer zuzuordnen. Da OPC UA sowohl zur Kommunikation zwischen Industrie-4.0-Komponenten als auch für die Anbindung von Geräten (Assets) an ihre Verwaltungsschalen dient, kann OPC UA zukünftig im Integration Layer von RAMI 4.0 verortet werden.

2.3 AutomationML

OPC UA bietet zwar den Rahmen für Metamodelle, aber definiert nicht deren Inhalte für den Datenaustausch (vgl. OPC 2017). An dieser Stelle setzt das in IEC 62714 definierte neutrale, XML-basierte Datenformat AutomationML (Automation Markup Language) an, indem es eben jene Inhalte beschreibt (DIN EN IEC 62714 und Fraunhofer IOSB o.J.) und somit den branchen- und unternehmensübergreifenden Austausch von Engineering Daten (wie zum Beispiel computer-aided-design-Daten) ermöglicht.

AutomationML wurde 2006 als Industriekonsortium deutscher, aber auch US-amerikanischer Unternehmen aus der Automatisierungstechnik mit dem Ziel gegründet, den Datenaustausch während des Engineering-Prozesses in der Produktion zu standardisieren. Dabei wurde kein neues Datenformat entwickelt, sondern bereits existierende Formate aufgegriffen und erweitert, angepasst oder miteinander kombiniert. Seit 2009 ist AutomationML als eingetragener Verein AutomationML e.V. anerkannt (vgl. AutomationML 2020).

Das Datenformat AutomationML bietet die Möglichkeit, interne und externe Untermodelle (ISA95, eCl@ss Eigenschaften, PDF-Dokumente) zu integrieren. Regeln, welche die Transformation von AutomationML ins OPC UA Informationsmodell beschreiben und somit die Synthese beider Standards ermöglichen, sind in der Companion Specification AutomationML for OPC UA dargestellt. Basierend auf den Inhalten der Companion Specification werden die Transformationsregeln in DIN SPEC 16592 detailliert und erweitert (vgl. DIN SPEC 16592:2016-12). Zudem werden mögliche Use Cases für die Kombination aus AutomationML und OPC UA gegeben sowie aufgezeigt, wie weitere Standards (CANopen, STEP) integriert werden könnten.

Das IIC hat das „The Industrial Internet Connectivity Framework“ (IICF) publiziert, in dem Kommunikation in allen Bereichen des IIoT dargestellt ist (vgl. Lin et al. 2017 und Joshi et. al. 2018). Ähnlich wie im bekannten, schon älteren OSI-Modell ISO/IEC 7498-1:1994 werden hier mehrere Kommunikationsschichten definiert: physical (physisch), link (Verbindung), network (Netzwerk), transport (Transport), framework (Rahmen), distributed data interoperability and management (verteilte Dateninteroperabilität und -verwaltung) (vgl. ISO/IEC 7498-1:1994). IICF bezieht sich wie IIC IIoT auf alle Bereiche von IoT/IIoT. Für den Bereich Manufacturing wird bezüglich der Schichten Transport und Framework ebenfalls OPC UA empfohlen (vgl. Joshi et. al. 2018).

3 Diskussion und Ausblick

Im Vergleich der verschiedenen Referenzarchitekturmodelle wird deutlich, dass die dreidimensionalen Schichtenmodelle am allgemeinsten formuliert sind. Im Vergleich dazu sind die einzelnen Standpunkte der IoT/IIoT-Referenzarchitekturmodelle detaillierter beschrieben. Industriestandards wie OPC UA enthalten die meisten Details. Je höher der Detailgrad eines Standards ist, desto mehr unterscheiden sich Standards in verschiedenen Bereichen. So gibt es bei OPC UA unterschiedliche Companion Specifications für verschiedene Industriebereiche.

Die dreidimensionalen Schichtenmodelle zu Industrie 4.0, wie RAMI 4.0, beschreiben alle Aspekte der Lebenszyklen von der Entwicklung und Produktion eines Produktes, entlang der gesamten Hierarchie eines beliebigen Unternehmens und aus allen dafür notwendigen Standpunkten.

Die IoT/IIoT-Referenzarchitekturmodelle legen den Fokus auf die Interkonnektivität und sind deshalb detaillierter beschrieben. Gleichzeitig gilt, dass IoT/IIoT-Referenzarchitekturmodelle mehr Industriebereiche als nur Manufacturing beschreiben. Entscheidend ist aber, dass die Beschreibung von Interkonnektivität verschiedener Bereiche eines detaillierteren Modells bedarf.

In diesem Zusammenhang kann auch die Frage beantwortet werden, warum die IoT/IIoT-Modelle nicht als dreidimensionale Schichtenmodelle konzipiert werden. Die Lebenszyklen in verschiedenen IoT/IIoT-relevanten Bereichen (Energie, Gesundheitswesen, Manufacturing usw.) unterscheiden sich wie oben beschrieben deutlich. Sich für eine Lebenszyklus-Achse wie in den dreidimensionalen Schichtenmodellen zu Manufacturing zu entscheiden, ist damit nur schwer möglich, weshalb auf weniger elegante, aber dafür detailliertere Modelle zurückgegriffen werden muss. Die Verbindung der einzelnen Sichten bzw. Schichten ist in den IoT/IIoT-Modellen über sogenannte bereichsübergreifende Funktionen gewährleistet und erfolgt in den dreidimensionalen Schichtenmodellen naturgemäß über die vertikale Verbindung entlang der vertikalen Architektur-Achse.

Es kann sich in vielen Fällen lohnen, die unterschiedlichen Modelltypen gemeinsam anzuwenden. RAMI 4.0 und IIC IIoT können sich beispielsweise gegenseitig ergänzen, da die IIoT betreffenden Herausforderungen dabei aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden (vgl. Lin et al. 2017). Welches Modell im Einzelfall passender ist, hängt stets von der individuellen Perspektive eines Unternehmens ab, oft liefert jedoch die Betrachtung über beide Modelle einen Mehrwert. Ähnlich haben auch schon Projekte aus dem früheren Technologieprogramm Autonomik für Industrie 4.0 argumentiert: In „Softwarearchitekturen für Industrie 4.0 – RAMI und IIRA aus Sicht der Projekte im Technologieprogramm“ wurden die Anwendbarkeit von RAMI 4.0 und IIRA (der Vorgänger von IIC IIoT) im Hinblick auf die Projekte des Programms analysiert (vgl. Anderl et al. 2016). Es wurde unter anderem festgestellt, dass IIRA insbesondere Entwickler und Systemintegratoren unterstützt, die sich mit der konkreten Konzeption und Architektur eines industriellen Internetsystems beschäftigen, während der RAMI-4.0-Würfel eine eingängige kompakte Darstellung komplexer Systeme erlaube.

Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass für Unternehmen, deren Fokus die Produktion ist, RAMI 4.0 oder ein verwandtes Referenzarchitekturmodell oft die geeignete Wahl ist. Unternehmen, für die Interoperabilität von höchster Bedeutung ist, kann die Verwendung von IIC IIoT oder eines vergleichbaren Referenzarchitekturmodells für IIoT empfohlen werden.

4 Literaturverzeichnis

Adolphs, Peter et. al. (2016): Struktur der Verwaltungsschale: Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente, Plattform Industrie 4.0. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

Anderl, Reiner et al. (2016): Softwarearchitekturen für Industrie 4.0. RAMI und IIRA aus Sicht der Projekte im Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0. Berlin: Institut für Innovation und Technik.

Angeli, Carsten et al. (2019): Sichere unternehmensübergreifende Kommunikation mit OPC UA, Plattform Industrie 4.0. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

ARVIDA (2020): ARVIDA Architektur, www.arvida.de/projekt/architektur/ [07.04.2020].

AutomationML (2020): short overview of the data exchange format. www.automationml.org/o.red.c/organisation.html [07.04.2020].

BMWi (2018): Alignment Report for Reference Architectural Model for Industrie 4.0/ Intelligent Manufacturing System Architecture. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

DIN EN IEC 62541 (all parts), OPC Unified Architecture.

DIN EN IEC 62714 (all parts), Datenaustauschformat für Planungsdaten industrieller Automatisierungssysteme - Automation markup language. Berlin: Beuth.

DIN SPEC 16592:2016-12, Combining OPC Unified Architecture and Automation Markup Language.

DIN SPEC 91345:2016-04, Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0).

Fraunhofer IOSB (o.J.): Offene Standards für die Industrie 4.0 – Tools und Angebote rund um AutomationML und OPC UA. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung.

Heidel, Roland / Hoffmeister, Michael / Hankel, Martin / Döbrich, Udo (2017): Industrie 4.0 Basiswissen. RAMI 4.0. Berlin: Beuth, VDE.

IEC 61512 (all parts), Batch control.

IEC 62264 (all parts), Enterprise-control system integration.

IEC 62890 ED1:2016, Life-cycle management for systems and products used in industrial-process measurement, control and automation.

IEC PAS 63088:2017, Smart manufacturing - Reference architecture model industry 4.0.

IIC (2015): Industrial Internet Reference Architecture. Technical Report, version 1.7, s.l.: Industrial Internet Consortium.

ISO/IEC 30141:2018-08, Internet of Things (IoT) - Reference Architecture.

ISO/IEC 7498-1:1994, Information technology - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model: The Basic Model.

ISO/TR 23087:2018-03, Automation systems and integration - The Big Picture of standards.

ITU-T Y.2060:2012-06, Overview of the Internet of things.

IVI (2016): Industrial Value Chain Reference Architecture (IVRA). s.l.: Industrial Value Chain Initiative.

IVI (2018): Strategic implementation - framework of industrial value chain for connected industries, s.l.: Industrial Value Chain Initiative.

Joshi, Rajive / Didier, Paul / Jimenez, Jaime / Carey, Timothy (2018): The Industrial Internet of Things Volume G5: Connectivity Framework. s.l.: Industrial Internet Consortium.

Kennedy, Scott (2015): Made in China 2025. www.csis.org/analysis/made-china-2025 [21.08 2019.].

Leukert, Bernd et al. (2016): IoT 2020: Smart and secure IoT platform. Genf: International Electrotechnical Commission (IEC).

Li, Qing / Tang, Qianlin / Chan, Iotong / Wie, Hailong / Pu, Yudi / Jiang, Hongzhen / Li, Jun / Zhou, Jian (2018): Smart manufacturing standardization: Architectures, reference models and standards framework. In: Computers in Industry 101, 91-106.

Lin, Shi-Wan / Miller, Bradford / Durand, Jacques / Bleakley, Graham / Chigani, Amine / Martin, Robert / Murphy, Brett / Crawford, Mark (2017): The Industrial Internet of Things - Volume G1: Reference Architecture. s.l.: Industrial Internet Consortium.

Lin, Shi-Wan / Murphy, Brett / Clauer, Erich / Loewen, Ulrich / Neubert, Ralf / Bachmann, Gerd / Pai, Madhusudan / Hankel, Martin (2017): Architecture Alignment and Interoperability - An Industrial Internet Consortium and Plattform Industrie 4.0 Joint Whitepaper. s.l.: Industrial Internet Consortium.

Lu, Yan / Morris, KC / Frechette, Simon (2015): Standards Landscape and Directions for Smart Manufacturing Systems. In: 2015 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE).

OPC (2017): AutomationML, OPC UA, and the Asset Administration Shell of Industrie 4.0 Components. https://opcfoundation.org/wp-content/uploads/2017/11/OPCUA-AutomationML-2017-v3.pdf [06.08 2019].

OPC (2020): What is OPC? https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/ [07.04.2020].

Plattform Industrie 4.0 (2019): Verwaltungsschale goes eCl@ss. www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Kurzmeldungen/2019/2019-02-15-AG-VWS-eClass.html [01.08.2019].

VDMA / Fraunhofer IOSB-INA (2017): Industrie 4.0 - Kommunikation mit OPC UA. Leitfaden zur Einführung in den Mittelstand. Frankfurt am Main: VDMA.

VDMA 40010-1:2019-07, OPC UA Companion Specification für Robotik (OPC Robotik) - Teil 1: Vertikale Integration.

Wie, Sha / Hu, Jingyi / Cheng, Yuhang / Ma, Yuanye / Yu, Yinpeng (2017): The essential elements of intelligent Manufacturing System Architecture. In: 13th IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE).

www.paice.de