



**VDE**

VDI/VDE-Gesellschaft  
Mess- und Automatisierungstechnik

# Industrie 4.0

## Statusreport

Auf dem Weg zu einem  
Referenzmodell

April 2014



# Inhalt

1	Zusammenfassung	1
2	Motivation	2
3	Referenzmodelle – Begriffe und Beispiele	3
3.1	ISO Reference Model for Open Distributed Processing (RM-ODP)	4
3.2	OASIS SOA Reference Model (SOA-RM)	4
3.3	Referenzmodell für das Internet der Dinge	6
4	Auswirkungen auf ein „Industrie 4.0“-Referenzmodell für den Themenbereich „SA“ (Systemarchitektur)	8
5	Konformität zu einem SOA-Referenzmodell	10
6	Abkürzungen	11
7	Begriffe	11
8	Literatur	12
9	VDI/VDE-GMA-Fachausschuss „Industrie 4.0“	13

# 1 Zusammenfassung

Der vorliegende Statusreport wurde im VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA), Fachausschuss 7.21 „Industrie 4.0“ im März 2014 erstellt und abgestimmt.

Der vorliegende Statusreport leistet einen Beitrag zu den Grundüberlegungen für einen Weg zu einem „Industrie 4.0“-Referenzmodell „Systemarchitektur“ (RM-SA) gemäß der deutschen Normungs-Roadmap „Industrie 4.0“ [2]. Vor diesem Hintergrund erhebt es keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Festlegung auf gewisse Grundkonzepte.

Es besteht Konsens, dass ein RM-SA iterativ erstellt werden sollte. Einerseits sollte es den Anforderungen der „Industrie 4.0“-Anwendungsfälle folgen, andererseits die Möglichkeiten neuer Technologien aus dem Internet der Dinge und Dienste ausnutzen. Dies kann nur in einem Prozess mit mehreren Iterationsschritten und Versionen erfolgen.

Ein erstes Referenzmodell zur „Industrie 4.0“-Systemarchitektur (RM-SA) sollte grob gesehen mindestens folgende Aspekte abdecken:

- klare Definition von Begriffen, z. B. über den Aufbau eines Glossars
- Identifikation und Spezifikation eines I40-Domänenmodells, das eine grundlegende, minimale Menge von Konzepten definiert mit Bezug zu den Begriffen des Glossars, insbesondere die Konzepte
  - Wertschöpfungskette
  - I40-Komponente (auf der Grundlage von physischen und/oder virtuellen Entitäten)
  - Gerät (Sensor, Aktor, Marke)
  - Fähigkeiten (skill) [13] von I40-Komponenten und Geräten
  - Service inklusive einem zu einer I40-Komponente und den verschiedenen Wertschöpfungsketten passenden Service-Meta-Modellen
- Spezifikation weiterer, darauf aufbauender Modelle für funktionale, informationelle und nicht funktionale Aspekte gemäß den verschiedenen Wertschöpfungsketten
- grafische Modellspezifikation der Konzepte und deren Beziehungen, ggf. unter Nutzung von semantischen Technologien und Standards [14]
- Definition von Sichten und Sichtweisen, die in einer Architektur beschrieben werden müssen
- Vorgabe von Regeln, Notationen und Modellierungssprachen (u. a. für Dienste und Informationsmodelle) zur Spezifikation von konzeptionellen und Implementierungs-Architekturen
- Konformitätserklärungen

## 2 Motivation

Um ein gemeinsames Verständnis für „Industrie 4.0“ als Technologietrend oder Zukunftsszenario zu erlangen, ist die Frage des Betrachtungsstandpunktes entscheidend. Die Plattform „Industrie 4.0“ beschreibt „Industrie 4.0“ aus betriebswirtschaftlicher Sicht als eine „neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten“ [1]. Als technologische Anforderung, um diese Stufe erreichen zu können, wird „die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen“ genannt sowie die „Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten“ [1]. Wichtig sei hierbei die „Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen“ zu „unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerken“ [1].

Aus technologischer Sicht der Informations- und Kommunikationstechnik entspricht dies der Anwendung der Prinzipien des entstehenden „Internet der Dinge“ (Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen) und des „Internet der Dienste“ (Verfügbarkeit der Daten und daraus basierende Auswertungen) auf die industrielle Produktion. So beschreibt auch die deutsche Normungs-Roadmap „Industrie 4.0“ [2] als das grundlegende Ziel von „Industrie 4.0“ die „Nutzbarmachung der in den Informations- und Kommunikationstechnologien erreichten und in der nahen Zukunft zu erwartenden Fortschritte für die produktionstechnischen Unternehmen“.

Entscheidend, wenn auch nicht das alleinige Erfolgskriterium, ist die Frage der Interoperabilität oder gar Austauschbarkeit der eingesetzten Komponenten in einem System von Systemen

- einerseits sowohl unternehmensintern als auch unternehmensübergreifend, und
- andererseits sowohl domänenintern als auch domänenübergreifend (Produktion, Logistik, Energieversorgung, Gebäudemanagement, usw.[2]).

Dies erfordert letztlich Normung und Standardisierung auf detaillierter, technischer Ebene. Allerdings ist zunächst die Erstellung von Referenzmodellen zur „schlüssigen Beschreibung von Aspekten in einem Anwendungsbereich“ [2] eine notwendige Voraussetzung, um Standardisierungsarbeiten zu ordnen und

Standardspezifikationen beginnen zu können. Als Konsequenz beinhaltet die deutsche Normungs-Roadmap „Industrie 4.0“ [2] mehrere Themenbereiche zu Referenzmodellen:

- SA: Systemarchitektur (Referenzmodell für die Gesamtarchitektur)
- RT: Referenzmodelle der technischen Systeme und Prozesse
- RL: Referenzmodelle der leittechnischen Funktionen
- RB: Referenzmodelle der technisch-organisatorischen Prozesse
- Mensch: Referenzmodelle zu Aufgaben und Rollen des Menschen in „Industrie 4.0“

Der vorliegende Statusreport diskutiert, ob und inwieweit Referenzmodelle und Referenzarchitekturen aus dem „Internet der Dinge und Dienste“ als Vorlage, wenn nicht gar als Grundlage, für o.g. „Industrie 4.0“-Referenzmodelle dienen können. Der Fokus liegt hierbei auf dem Themenbereich SA (Referenzmodell für die Systemarchitektur, RM-SA). Es beschreibt zudem Handlungsfelder und zu klärende Fragestellungen auf dem Weg zur Spezifikation eines RM-SA.

Dieses Statusreport geht davon aus, dass es zur Kanalisierung des „Industrie 4.0“-Prozesses möglichst genau ein grundlegendes Referenzmodell für den Themenbereich SA geben sollte, das für Teilaspekte verfeinert und ergänzt werden kann zu weiteren, ergänzenden Referenzmodellen. Dies ermöglicht dann die Spezifikation spezifischer „Industrie 4.0“-Referenzarchitekturen.

Zur Kategorisierung der Referenzmodelle und Referenzarchitekturen dienen die spezifischen funktionalen, informatorischen und qualitativen Anforderungen (z. B. Echtzeit, Zuverlässigkeit, Sicherheit) der jeweiligen Domänen [2] und Wertschöpfungsketten [18] oder deren Bestandteile.

## 3 Referenzmodelle - Begriffe und Beispiele

Im Unterschied zu Kernmodellen, die anwendungsunabhängig weitgehend anerkannte Muster und Konzepte beschreiben, sind Referenzmodelle gemäß [17] „schlüssige Beschreibungen von Aspekten in einem Anwendungsbereich“. Sie sind daher vom Ansatz her stärker anwendungsbezogen als Kernmodelle. In diesem Statusreport wird unter einem Referenzmodell ein Meta-Modell für Architekturbeschreibungen, insbesondere für Dienstsysteme, verstanden.

Ein „Industrie 4.0“-Referenzmodell sollte also eine schlüssige Beschreibung von Systemarchitekturen ermöglichen, die gemäß den Umsetzungsempfehlungen zu „Industrie 4.0“ [1] spezifiziert und implementiert werden können. Zu den Architekturmerkmalen gemäß [1] gehören insbesondere:

- M1 Verteilung der Systemkomponenten in einem Netzwerk: Ein „Industrie 4.0“-System ist per Definition ein verteiltes System.
- M2 Dienstorientierung: Der Zugriff auf die Funktionen der Systemkomponenten über wohldefinierte Dienste. Auf dieser Grundlage kann durch gezielte und standardisierte Anwendung von Dienstentwurfsmustern<sup>1)</sup> sowie semantischen Dienstbeschreibungen ein Internet der Dienste aufgebaut werden.
- M3 Internet der Dinge: Die Nutzung der Internet-Technologie zur Verknüpfung von physischen Objekten, Menschen und Systemen.

Zu den Merkmalen M1 und M2 wurden im Zuge der internationalen Normung von verschiedenen Organisationen Referenzmodelle entwickelt<sup>2)</sup> (vgl. Bild 1 und [3]). Die Normung eines Referenzmodells für das Internet der Dinge (M3) ist noch nicht abgeschlossen.

Die folgenden Referenzmodelle werden in diesem Statusreport kurz beschrieben:

- RM-M1 ISO Reference Model for Open Distributed Processing (RM-ODP) [4]
- RM-M2 OASIS SOA Reference Model (SOA-RM) [5]
- RM-M3 IoT-A Consortium: Architectural Reference Model for the Internet of Things [15; [16]

Bemerkung:

Die Auswahl dieser Referenzmodelle ist keine Festlegung, sondern beschreibt nur beispielhaft anhand ausgewählter, einschlägiger Spezifikationen und Standards, welche Einflüsse auf dem Weg zu einem „Industrie 4.0“-Referenzmodell Systemarchitektur zu beachten sind.

<sup>1)</sup> Beispiele für wichtige Entwurfsmuster im Sinne eines Internets der Dienste sind Dienstvermittlung (ggf. unterstützt durch eine semantische Dienstbeschreibung), Dienstorchestrierung (zentral gesteuerte Aufruffolgen von Dienstoperationen) und Dienstchoreographie (selbst-organisierende Interaktion von Dienstteilnehmern nach übergeordneten Vorgaben).

<sup>2)</sup> Diese Referenzmodelle sind generisch, also anwendungsunabhängig. Teile dieser Referenzmodelle können im Sinne von [17] als Kernmodelle angesehen werden, da sie „grundlegenden“ Charakter besitzen.

### 3.1 ISO Reference Model for Open Distributed Processing (RM-ODP)

RM-ODP ist ein ISO-Standard für den Architekturdentwurf für offene, verteilte informationsverarbeitende Systeme. RM-ODP schlägt architektonische Grundmuster und Organisationsprinzipien vor und bietet Richtlinien und Begriffliche für den inkrementellen Entwurf verteilter Systeme. Das wichtigste Strukturierungselement ist die Definition von fünf Sichtweisen (*viewpoints*) zur Beschreibung von Architekturen nach dem Prinzip des *separation of concerns*:

- Enterprise Viewpoint beschreibt den Zweck, den Anwendungsbereich und die grundsätzlichen Regeln eines verteilten Systems und seiner (Einsatz-) Umgebung sowie typischerweise auch die Analyse der Benutzer- und Systemanforderungen [3].
- Information Viewpoint beschreibt die Semantik der Information und der Informationsverarbeitung (Informationssichtweise).
- Computational Viewpoint beschreibt die Art, wie das System in Funktionseinheiten aufgeteilt ist (funktionale Sichtweise).
- Technology Viewpoint beschreibt die gewählte Technologie (Hardware und Software).
- Engineering Viewpoint beschreibt die Mechanismen zur Unterstützung von verteilten Interaktionen zwischen Objekten mithilfe der gewählten Technologie (Engineering-Sichtweise).

Das RM-ODP ist sehr abstrakt gehalten und grundsätzlich nicht nur auf serviceorientierte Architekturen (SOA) ausgerichtet. Es ist daher eine verfeinerte Beschreibung erforderlich, die spezifiziert, wie die einzelnen Sichtweisen für eine bestimmte Anwendungsdomäne interpretiert werden sollen. Ein Beispiel dafür ist das Referenzmodell des Open Geospatial Consortium (OGC) für serviceorientierte Umweltrisikomanagementsysteme [6].

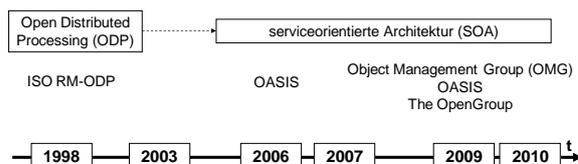


Bild 1. : Entwicklung von Referenzmodellen für die Merkmale M1 und M2 [3]

### 3.2 OASIS SOA Reference Model (SOA-RM)

Die Organisation for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS) verabschiedete 2006 als eine der ersten Standardisierungsorganisationen ein Referenzmodell für serviceorientierte Architekturen (SOA-RM) [5]. Das SOA-RM orientiert sich nicht explizit am ISO RM-ODP, kann aber als Interpretation der Informations- und funktionalen Sichtweisen für eine generische SOA angesehen werden. Es ist ein abstraktes, technologieneutrales Rahmenwerk, das die folgenden grundsätzlichen Entitäten (SOA-Konzepte) und deren Beziehungen untereinander beschreibt (vgl. Bild 2). Die folgende Auflistung ist eine verkürzte, aber originäre Wiedergabe der einzelnen Konzepte [5]:

- *Service is a mechanism to enable access to one or more capabilities where the access is provided using a prescribed interface and is exercised consistent with constraints and policies as specified by the service description.*
- *Service description* represents the information needed in order to use a *service*.
- *Visibility is the relationship between service consumers and providers that is satisfied when they are able to interact with each other. Preconditions to visibility are awareness, willingness and reachability.*
- *Interaction* deals with the question about how to interact with the service in order to achieve the required objectives. Key requirements for successful interactions revolve around the service description which references an information model and a behavior model.
- *Real world effect* captures the consequence of invoking a *service*, e.g. information returned in response to a request, a change to the shared state of defined entities, or some combination of these two.
- *Contract and Policy* represents some constraint or condition on the use, deployment or description of an owned entity as defined by any participant.
- *Execution context* is a set of infrastructure elements, process entities, policy assertions and contracts that are identified as part of an instantiated service interaction.

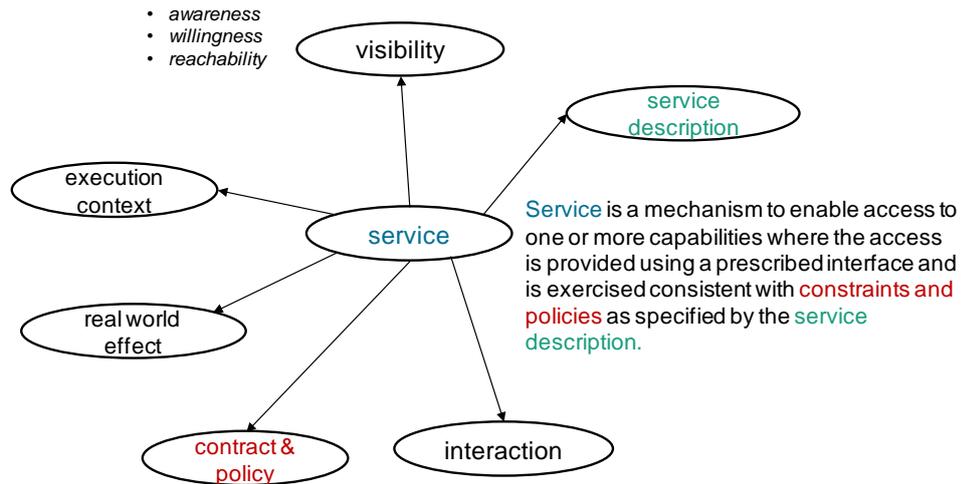


Bild 2. Grundlegende Konzepte im OASIS SOA-RM

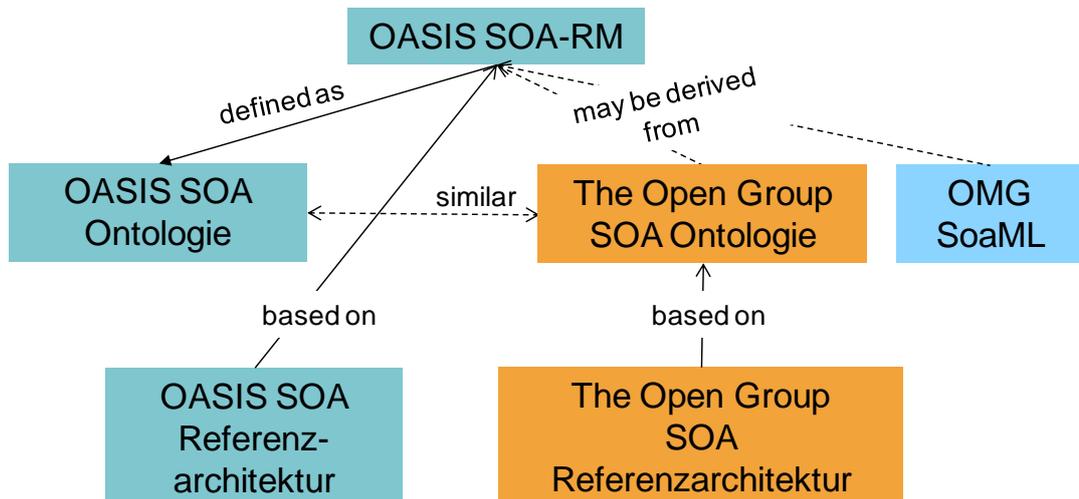


Bild 3. Beziehung zwischen den SOA Spezifikationen von OASIS, The Open Group und der OMG [10]

Das SOA-RM liefert zudem eine Liste von Richtlinien für und Erwartungen an Systementwürfe (*conformance guidelines*), die Konformität zum SOA-RM reklamieren (vgl. Kap. 5). Zudem hat OASIS zwei weitere Spezifikationen erstellt:

- 1 Eine formale Spezifikation der SOA-RM Konzepte und deren Beziehungen in einer Ontologie (SOA Meta-Modell) [7], und
- 2 Grundlagen für eine SOA-Referenzarchitektur gemäß den SOA-RM Vorgaben [9].

Diese konkurriert mit ähnlichen Ansätzen der Open Group [8] und der Object Management Group

(OMG), die mit SoaML eine Modellierungssprache für SOA als UML-Erweiterung vorgeschlagen haben [11].

Eine Vereinheitlichung der formalen SOA-Meta-Modelle wurde 2009 versucht und beschrieben [10]. Das SOA-RM wird von den genannten Organisationen als grundlegendes Referenzmodell angesehen, von dem die SOA-Meta-Modelle und Referenzarchitekturen von OASIS, OMG und The Open Group abgeleitet werden können (vgl. Bild 3).

## 3.3 Referenzmodell für das Internet der Dinge

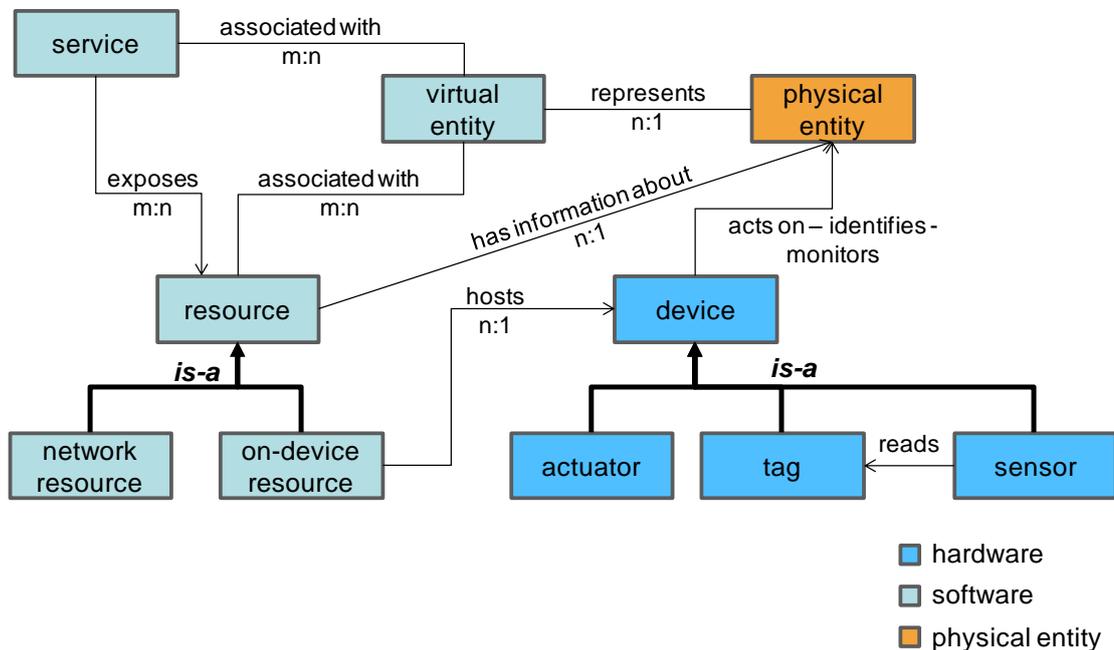


Bild 4. IoT Domain Model [16]

Für das Internet der Dinge gibt es bislang kein Referenzmodell, das von einem internationalen Normungsgremium oder einer Standardisierungsorganisation anerkannt wurde. Das europäische Forschungsprojekt IoT-A<sup>3)</sup> (Internet of Things – Architecture) hat im Juli 2013 einen Vorschlag für ein Architectural Reference Model (ARM) veröffentlicht [16]. Eine Einführung dazu findet sich in [15]. Seit Abschluss des Projekts wird das ARM in der „Technology“-Arbeitsgruppe des IoT-Forum weitergeführt. Das ARM beinhaltet sowohl ein IoT-Referenzmodell (IoT-RM) als auch die Beschreibung einer konzeptionellen Referenzarchitektur. In diesem Statusreport wird nur das IoT-RM vorgestellt (vgl. [16]; Kap. 3).

Das IoT-RM orientiert sich an dem OASIS-Verständnis eines Referenzmodells [5] und definiert grundlegende Konzepte und Modelle, die die Spezifikation von IoT-Architekturen und -Systemen ermöglicht. Es beinhaltet die folgenden Modelle:

- Das *IoT Domain Model* definiert die grundlegenden IoT-Konzepte und deren Beziehungen untereinander (vgl. Bild 4), wie z. B. physische Entität (*physical entity*) und virtuelle Entität (*virtual*

*entity*), Dienst (*service*), Ressource (*resource*) als funktionstragende Softwarekomponente sowie Gerät (*device*) mit den Subkonzepten Sensor, Aktor (*actuator*) und Marke (*tag*). Einer physischen Entität können eine oder mehrere virtuelle Entitäten zugeordnet werden als Repräsentanzen in der virtuellen Welt. Einer physischen Entität kann ein Gerät zugeordnet sein. Es kann über eine oder mehrere Marken identifiziert, durch einen oder mehrere Sensoren beobachtet und über einen oder mehrere Aktoren manipuliert werden. Informationen über eine physische Entität werden in virtuellen Entitäten und/oder assoziierten Ressourcen gehalten (auf Geräten oder im „Netz“), grundsätzlich aber nur über Dienste extern zugänglich gemacht.

- Das *IoT Information Model* ist Meta-Modell, das die Struktur der den virtuellen Entitäten zugeordneten Informationen auf konzeptioneller Ebene beschreibt. Gemäß dem Domänenmodell umfasst dies auch die Struktur der Dienste-, Ressourcen- und Gerätebeschreibungen.
- Das *IoT Functional Model* ist ein Meta-Modell, das die funktionalen Eigenschaften eines IoT-Systems beschreibt. Es kategorisiert IoT-Funktionen in sieben aufeinander aufbauende (*longitudinal*) Funktionsgruppen (*device, communication, IoT service, virtual entity, IoT pro-*

<sup>3)</sup> IoT-A (FP7 257521) – Internet of Things – Architecture

*process management, service organisation, application*) sowie zwei querschnittliche (*transversal*) Funktionsgruppen (*management, security*).

- Das *IoT Communication Model* definiert die hauptsächlichen Formen der Kommunikation und Interaktion (*communication paradigms*) zwischen den verschiedenen Instanzen von IoT-Domain-Model-Konzepten. Die Beschreibung des *IoT Communication Model* orientiert sich an den sieben Schichten des ISO/OSI 7498-Modells.
- Das *IoT Trust, Security and Privacy Model* beschreibt die grundlegenden Konzepte zur Konzeption und Umsetzung von Vertrauenswürdigkeit (*trust*), IT-Sicherheit (*security*) und Privatheit (*privacy*) in einem IoT-System.

Für die Anwendbarkeit des IoT-Referenzmodells auf eine „Industrie 4.0“-Umgebung und damit für das RM-SA ist insbesondere das *IoT Domain Model* zu prüfen, da dies grundlegend und verpflichtend ist für die anderen Modelle. Folgende Diskussionspunkte sind hierbei zu beachten bzw. zu klären:

- Kann, und wenn ja wie, eine I40-Komponente gemäß dem *IoT Domain Model* definiert werden?
- Wie eng verschränkt sind die Lebenszyklusmodelle von virtuellen und physischen Entitäten?

- Welche Kardinalität soll die Relation zwischen virtuellen und physischen Entitäten haben? Soll z. B. eine virtuelle Entität ohne zugeordnete physische Entität existieren können?
- Wie passt das Konzept des Diensts aus dem IoT-RM zu dem gewählten Kommunikations- und Interaktionskonzept im I40-RM-SA, insbesondere bezüglich der nicht funktionalen Aspekte, z. B. Sicherheit (Authentifizierung, Autorisierung, Verschlüsselung), Privatheit oder Dienstqualität?
- Welche Beziehung haben Funktionen aus dem *IoT Functional Model* zu Diensten aus dem *IoT Domain Model*?
- Sollen Funktionen ausschließlich über Dienste umgesetzt werden können?

Für das gesamte IoT-RM, also über das IoT-Domain-Model hinaus, ist die Frage zu klären, ob und inwieweit es eine Architektur ermöglicht, die auf den heute in der industriellen Kommunikation gängigen Standards, z. B. Feldbusse und/oder OPC-UA [21] aufsetzt oder inwieweit diese ergänzt bzw. angepasst werden müssten.

## 4 Auswirkungen auf ein „Industrie 4.0“-Referenzmodell für den Themenbereich „SA“ (Systemarchitektur)

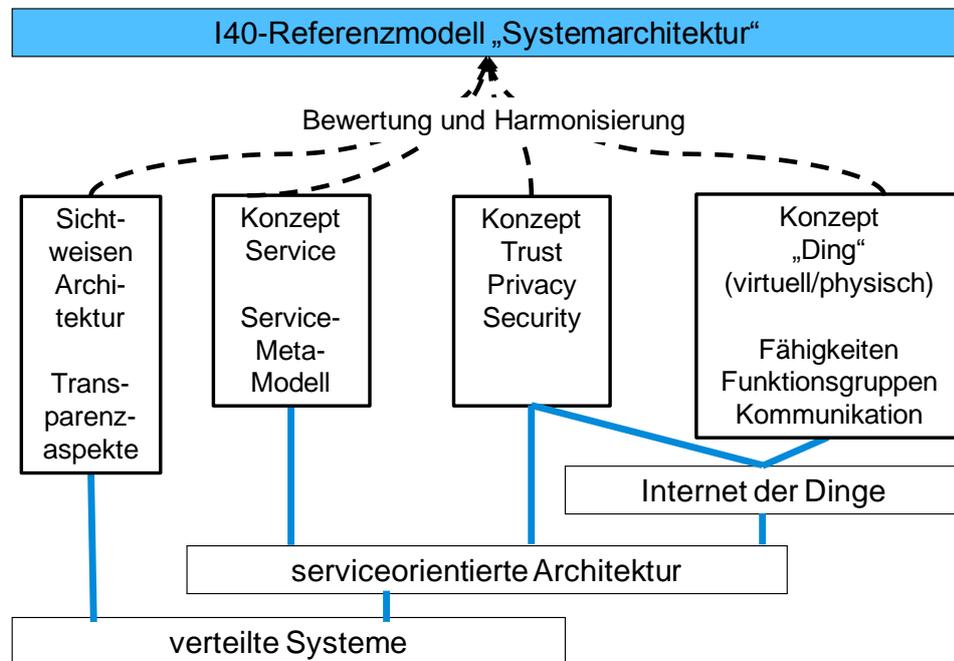


Bild 5. Aufbau eines I40-RM-SA aus ISO RM-ODP, SOA und IoT-Referenzmodellen

Die Merkmale verteilter Systeme und serviceorientierter Architekturen, die auch die Grundpfeiler für ein Internet der Dienste bilden, sowie das Internet der Dinge sind grundsätzlich zu betrachtende Ansätze auf dem Weg zu einem „Industrie 4.0“-Referenzmodell „Systemarchitektur“ (RM-SA). Diese Vorgehensweise ist in Bild 5 beschrieben.

Dabei sind die genannten Referenzmodelle gemäß den Anforderungen der bislang betrachteten „Industrie 4.0“-Anwendungsfälle zu bewerten. Es ist zu prüfen, welche Änderungen notwendig sind oder ob grundsätzlich neue Modelle erstellt werden müssen.

Daher sind mindestens folgende Vorarbeiten zu leisten, bevor mit der Spezifikation eines RM-SA begonnen werden kann:

- 1 Es ist unter den Beteiligten der „Industrie 4.0“-Plattform zu klären, ob ISO RM-ODP oder welches andere Referenzmodell für verteilte Systeme eingesetzt werden soll. Eine Übersicht über mögliche Alternativen gibt [19].
- 2 Die Ansätze des OASIS SOA-RM und des IoT-A Architectural Reference Model (ARM) sollten auf ihre Tauglichkeit in einer „Industrie 4.0“ Umgebung

geprüft werden. Besonders zu beachten sind hierbei, je nach Wertschöpfungskette, die nicht-funktionalen Systemanforderungen der industriellen Produktion, z. B. Robustheit, Zuverlässigkeit, Echtzeitfähigkeit, Betriebssicherheit (safety) und IT-Sicherheit (security).

- 3 Es ist zu prüfen, inwieweit die betrachteten Referenzmodelle für das Internet der Dinge und Dienste untereinander kompatibel sind. Dies betrifft insbesondere die Frage, ob das IoT-Domänenkonzept „Service“ zusammen mit seinen zugeordneten Konzepten und Modellen (IoT service model) mit dem Dienstverständnis des OASIS SOA-RM verträglich ist.
- 4 Es sollten die Spezifika von konzeptionellen Architekturen herausgearbeitet werden, die sich an den Wertschöpfungsketten orientieren. Daraus können weitere Anforderungen an ein RM-SA abgeleitet werden.

Gemäß SOA-RM ist ein Referenzmodell ein abstraktes Rahmenwerk (vgl. Bild 6),

- das die grundlegenden Beziehungen zwischen den Entitäten (z. B. die SOA-RM-Konzepte) einer Umgebung definiert,

- Regeln, Notationen, Begriffe und Modellierungssprachen technologieneutral festlegt,
- Sichtweisen auf Architekturen definiert (z. B. die Sichtweisen des RM-ODP),
- die Einhaltung von relevanten Standards vorschreibt oder vorschlägt (optional)
- und dadurch die Spezifikation von Architekturen ermöglicht.

Ein wesentliches Ziel ist, konzeptionelle Architekturen zu beschreiben, die als Referenzarchitektur in der „Industrie 4.0“-Community akzeptiert werden. Ein mögliches Beispiel hierfür wäre eine Architektur auf der Grundlage der OPC-UA-Spezifikationen und zugehöriger Companion Standards [21].

Die Betrachtung der beiden Referenzmodelle ISO RM-ODP und OASIS SOA-RM zeigt zudem die Bedeutung der Unterscheidung von

- **konzeptionellen Architekturen**, die technologieunabhängig sind, aber als Vorlage dienen für
- technologiebezogene und zweckorientierte **Implementierungsarchitekturen**. Diese zeichnen sich durch die Verwendung bestimmter Architekturstile und Dienstmuster aus.

Im SOA-Bereich sollen hier die Architekturstile „request/reply SOA“, „REST“ oder „ereignisbasiert“ erwähnt werden. SOA-Dienstmuster, z. B. Enterprise Service Bus (ESB) oder Event-Driven Messaging (mit publish/subscribe-Mechanismen), sind beispielsweise in [12] definiert.

Meta-Modell für Architekturbeschreibungen für Dienstsysteme

Es definiert insbesondere:

- abstraktes Rahmenwerk
- Sichtweisen auf Architekturen
- Regeln, Notationen, Terminologie, Modellierungssprachen
- ggf. Standard-Vorgaben

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

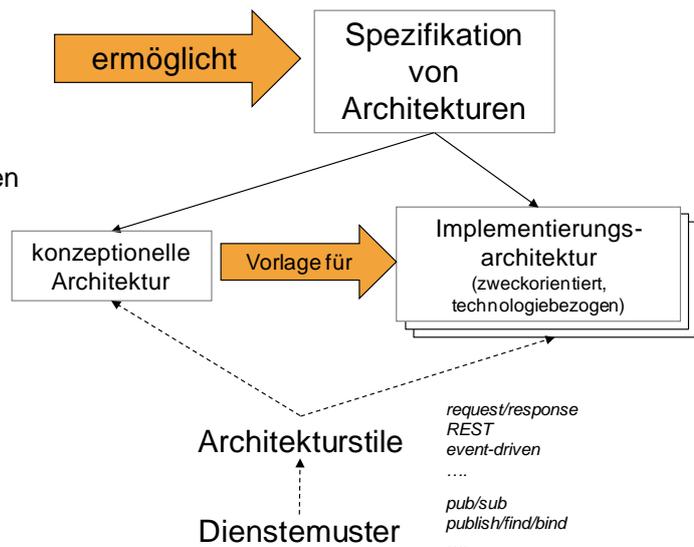


Bild 6. : Referenzmodelle ermöglichen die Spezifikation von Architekturen

## 5 Konformität zu einem SOA-Referenzmodell

Für die letztendliche Auswahl des Referenzmodells für die „Industrie 4.0“ Systemarchitektur ist die Frage entscheidend, wie die Konformität zu einem Referenzmodell festgestellt werden kann. Das OASIS SOA-RM hat für serviceorientierte Architekturen die Festlegung getroffen, dass eine SOA-RM-konforme Spezifikation die grundlegenden SOA-RM-Konzepte referenzieren muss in folgendem Sinne:

- Der Entwurf eines SOA-Systems soll Konzepte haben, die als services im Sinne des SOA-RM angesehen werden können (Beschreibung eines Dienste-Meta-Modells).
- Dienste sollen eine assoziierte Dienstbeschreibung (service description) besitzen (nach einem vorgegebenen Muster und einer vorgegebenen Notation).
- Es soll spezifiziert werden, wie Sichtbarkeit (visibility) zwischen Dienstbringer und Dienstnutzer hergestellt wird.

- Es soll spezifiziert werden, wie die Interaktionen (interaction) zwischen den Systemkomponenten gemäß dem Dienste-Meta-Modell vermittelt und aufgebaut werden.
- Es soll spezifiziert werden, welcher Effekt (real-world effect) eine Dienstenutzung mit sich bringt.
- Es soll der Ausführungskontext (execution context) spezifiziert werden, der zur Unterstützung von Interaktionen notwendig ist.
- Es soll ersichtlich sein, wie Ausführungsregeln (policies) gehandhabt werden und wie Verträge (contracts) modelliert und durchgesetzt werden.

Analog dazu sollten zu allen wesentlichen Aspekten und Konzepten eines „Industrie 4.0“-Referenzmodells „Systemarchitektur“ verpflichtende Konformitätsrichtlinien (conformance guidelines) erstellt werden, mithilfe derer Konformität geprüft und getestet werden kann.

## 6 Abkürzungen

ARM	(IoT-A) Architectural Reference Model	REST	Representational State Transfer
ESB	Enterprise Service Bus	RM-SA	Referenzmodell für den Themenbereich Systemarchitektur
I40	„Industrie 4.0“	RM-ODP	Reference Model for Open Distributed Processing
IoT	Internet of Things (Internet der Dinge)	SOA	Service-orientierte Architektur
IoT-A	Internet of Things – Architecture (EU-Projekt)	SOA-RM (OASIS)	Referenzmodell für service-orientierte Architekturen
ISO	International Organization for Standardization	SOA-ML (OMG)	Service oriented architecture Modeling Language
OASIS	Organization for the Advancement of Structured Information Standards		
OMG	Object Management Group		

## 7 Begriffe

### Vorbemerkung

Die folgenden Begriffe sind für das Verständnis dieses Statusreports definiert. Sie sind noch nicht im Rahmen der Arbeiten zu einem „Industrie 4.0“-Referenzmodell als Glossar vollständig abgestimmt und anerkannt. Dies ist eine derzeit laufende Arbeit im GMA-Fachausschuss 7.21.

### Dienst

Abgegrenzter Funktionsteil, der von einer Entität oder Organisation über Schnittstellen angeboten wird. (in Anlehnung an [17] und [22])

### Entität

Gegenstände, die in der Informationswelt eigene Objekte zu ihrer Verwaltung und Nutzung besitzen. [17]

### „Industrie 4.0“-Komponente

Komponente, die folgende Voraussetzungen erfüllt:

- I40-konform kommunikationsfähig
- dem System zumindest individuell bekannt
- besitzt die für einen zuverlässigen und sicheren Betrieb in einem I40-System von allen Teilnehmern geforderten Eigenschaften z.B. bezüglich Robustheit, Verfügbarkeit, Echtzeitfähigkeit usw. [20]

### Kernmodell

Einfache modellmäßige Beschreibung von grundlegenden Konzepten und Zusammenhängen, die einen allgemeinen Aspekt von Systemen betreffen. [17]

### Referenzarchitektur

Konzeptionelle Architektur, die in einer Community als Referenz akzeptiert ist.

### Referenzmodell

Schlüssige Beschreibung von Aspekten in einem Anwendungsbereich. [2]

### Referenzmodell

<verteilte (z.B. serviceorientierte) Systeme>

Meta-Modell für Architekturbeschreibungen (von z. B. Dienstsystemen). Es definiert insbesondere

- ein abstraktes Rahmenwerk
- Sichtweisen, die in Architekturbeschreibungen definiert werden sollen
- grundsätzliche Konzepte und Kernmodelle
- Begriffe, Regeln, Notationen und Modellierungssprachen
- ggf. Standard-Vorgaben [5]

### Wertschöpfungskette

Modell der Wertschöpfung als sequenzielle, abgestufte Reihung von Tätigkeiten beziehungsweise Prozessen von der Entwicklung über die Beschaffung, die Produktion und die Distribution bis hin zu Vermarktung und Dienstleistungen [18]

## 8 Literatur

- [1] Plattform „Industrie 4.0“: Was „Industrie 4.0“ (für uns) ist. <http://www.plattform-i40.de/blog/was-industrie-40-für-uns-ist> (Stand 27.03.2014)
- [2] VDE: Die Deutsche Normungs-Roadmap „Industrie 4.0“. Version 1.0 (Stand 11.12.2013). <http://www.dke.de/de/std/Seiten/Industrie40.aspx>
- [3] Usländer, T.: Service-oriented Design of Environmental Information Systems, Dissertation Karlsruher Institut für Technologie (KIT). KIT Scientific Publishing, ISBN 978-3-86644-499-7, 2010
- [4] ISO/IEC 10746-1:1998: Information technology – Open Distributed Processing – Reference model. Genf: ISO 1; 1998.
- [5] OASIS: Reference Model for Service Oriented Architecture 1.0. OASIS Standard, 12 October 2006. <http://docs.oasis-open.org/soa-rm/v1.0/>
- [6] Usländer, T. (ed.): Reference Model for the OR-CHESTRA Architecture Version 2.1”. OGC Best Practices Document 07-097, 2007. [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=23286](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=23286)
- [7] OASIS: Reference Ontology for Semantic Service Oriented Architectures, Version 1.0 Public Review Draft 01 5 November 2008. <http://docs.oasis-open.org/semantic-ex/ro-soa/v1.0/see-rososa-v1.0.pdf>
- [8] The Open Group: Service-Oriented Architecture Ontology. The Open Group Technical Standard, reference C104. Oktober 2010. US ISBN 1931624887, <https://www2.opengroup.org/ogsys/catalog/C104>
- [9] OASIS: Reference Architecture Foundation for Service Oriented Architecture Version 1.0. OASIS Committee Specification 01, 04 December 2012. <http://docs.oasis-open.org/soa-rm/soa-ra/v1.0/cs01/soa-ra-v1.0-cs01.html>
- [10] Kreger, H.; Estefan, J.: Navigating the SOA Open Standards Landscape Around - Architecture White Paper. <http://www.opengroup.org/soa/source-book/stds/index.htm>
- [11] OMG: Service oriented architecture Modeling Language (SoaML) Specification Version 1.0.1, Mai 2012. <http://www.omg.org/spec/SoaML/1.0.1>
- [12] Erl, T.: SOA design patterns. Prentice Hall, 2008. ISBN 0-13-613516-1 <http://soapatterns.org>
- [13] Pfrommer, J.; Schleipen, M.; Beyerer, J.: Fähigkeiten adaptiver Produktionsanlagen. atp-Edition 55 (2013), No.11, pp.42-49, ISSN: 2190-4111
- [14] Schleipen, M.: Adaptivität und semantische Interoperabilität von Manufacturing Execution Systemen (MES). Dissertation Karlsruher Institut für Technologie (KIT). KIT Scientific Publishing, 2013. 388 S., ISBN: 978-3-86644-955-8
- [15] IoT-A Consortium: Introduction to the Architectural Reference Model for the Internet of Things. 2013. [http://www.iot-a.eu/public/public-documents/copy\\_of\\_d1.2/view](http://www.iot-a.eu/public/public-documents/copy_of_d1.2/view)
- [16] IoT-A Consortium; Carrez, F. (ed.): Final architectural reference model for the IoT v3.0.IoT-A Deliverable D1.5, 2013. <http://www.iot-a.eu/public/public-documents/d1.5/view>
- [17] DIN TR-xx: Kernmodelle – Beschreibung und Beispiele. Entwurfsvorlage zur Genehmigung durch den K931 am 12.12.2013
- [18] VDI Statusreport: „Industrie 4.0“ – Wertschöpfungsketten. Düsseldorf: VDI e.V., VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, April 2014
- [19] Matthes, D.: Enterprise Architecture Frameworks Kompendium. Springer Xpert.press, 2011. ISBN 978-3-642-12954-4
- [20] VDI Statusreport: „Industrie 4.0“ – Gegenstände, Entitäten, Komponenten. Düsseldorf: VDI e.V., VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, April 2014
- [21] OPC Foundation: OPC Unified Architecture. Wegbereiter der 4. Industriellen (R)Evolution. <http://www.opcfoundation-events.com/uploads/media/OPC-UA-Wegbereiter-der-IE40-DE-v2.pdf>
- [22] ISO 19119:2005: Geographic Information-Services. Genf: ISO 2 2005

## 9 VDI/VDE-GMA-Fachausschuss „Industrie 4.0“

Das Gelingen des Projekts „Industrie 4.0“ und damit der gemeinsamen Bemühungen der deutschen Industrie und Hochschulen erfordert ein einheitliches Verständnis der grundlegenden Begriffe, Referenzmodelle und Architekturkonzepte, an denen sich die Entwicklung ausrichten kann. Hierfür ist eine Standardisierung unbedingt erforderlich. Viele Standards zu den verwandten Themen „Industrielle Kommunikation“, „Engineering“, „Modellierung“, „IT-Sicherheit“, „Geräteintegration“ sowie zur „Digitalen Fabrik“ sind

bereits existent. Doch für den Erfolg des Projekts „Industrie 4.0“ ergibt sich ein zusätzlicher Standardisierungsbedarf.

Der GMA-Fachausschuss „Industrie 4.0“ fokussiert derzeit auf folgende Punkte: Begriffe, Konzepte und Referenzmodelle für „Industrie 4.0“. Im Vordergrund steht die konsensbasierte Regelsetzung.

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple (Vorsitzender)  
RWTH Aachen

Dr. Thomas Bangemann  
ifak e.V. Magdeburg

Dipl.-Ing. Matthias Barbian  
Siemens AG

Dipl.-Inform. Christian Bauer  
Siemens AG

Dr. Annerose Braune  
TU Dresden

Dipl. Ing. (BA) Markus Diesner  
MPDV Mikrolab GmbH

Dipl.-Ing. Jens Friedrich  
ISW Uni Stuttgart

Florian Göbe, M. Sc.  
RWTH Aachen

Prof. Dr. Thomas Greiner  
Hochschule Pforzheim

Dipl.-Inform. Sten Grüner  
RWTH Aachen

Eur. Ing. Roland Heidel  
Siemens AG

Dr.-Ing. Werner Herfs  
RWTH Aachen

Dr.-Ing. Klaus Hesselmann  
Your Expert Cluster GmbH

Dipl.-Ing. Markus Janßen  
RWTH Aachen

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jasperneite  
Hochschule Ostwestfalen-Lippe

Dr. Heinrich Kehl  
NuK Consulting UG

Dr.-Ing. Heiko Koziolk  
ABB Forschungszentrum

Dipl.-Ing. Albrecht Lederer  
Your Expert Cluster GmbH- i.G.

Dipl.-Ing. Sven Lohde  
Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik

Dr.-Ing. Matthias Loskyll  
DFKI GmbH

Dr. Ulrich Löwen  
Siemens AG

Dipl.-Ing. Frank Lubnau  
Siemens AG

Dipl.-Ing. Julius Pfrommer  
Fraunhofer- IOSB

Dr.-Ing. Miriam Schleipen  
Fraunhofer IOSB

Dipl.-Ing. Matthias Schnurrer  
unipo GmbH

Dipl.-Ing. Holk Traschewski  
Your Expert Cluster GmbH

Dr.-Ing. Thomas Usländer (Korrespondenzautor)  
Fraunhofer IOSB

Prof. Dr.-Ing. Clemens Westerkamp  
Hochschule Osnabrück (FH)

Dipl.-Ing. Albrecht Winter  
J. Schmalz GmbH

Prof. Martin Wollschlaeger  
TU Dresden (FH)

Verein Deutscher Ingenieure e.V.  
VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und  
Automatisierungstechnik  
Tel. +49 211 6214-226  
[gma@vdi.de](mailto:gma@vdi.de)  
[www.vdi.de](http://www.vdi.de)