

# INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS: REFERENZARCHITEKTUR FÜR DIE KOMMUNIKATION

IN ZUSAMMENARBEIT MIT:





# **INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS: REFERENZARCHITEKTUR FÜR DIE KOMMUNIKATION**

**Whitepaper**  
**Autoren: Dr.-Ing. Mike Heidrich,**  
**Dr. Jesse Jijun Luo (Huawei)**

©Titelbild: panthermedia.net / Rainer Plendl



# INHALTSVERZEICHNIS

## Industrial Internet of Things: Referenzarchitektur für die Kommunikation

1. Executive Summary	S. 6
2. Einleitung	S. 8
2.1 Definition und Geschichte des IoT	S. 8
2.2 Ausprägung des IoT in der Industrie: Industrie 4.0 und Industrial Internet Consortium (IIC)	S. 10
3. Referenzarchitekturen für das IoT in der Industrie	S. 14
3.1 Die Rolle von Referenzarchitekturen	S. 14
3.2 IoT-Referenzarchitekturen	S. 14
3.3 Das Referenzmodell RAMI 4.0 aus der Industrie 4.0	S. 16
3.4 Die Industrial Internet Reference Architecture des IIC	S. 17
4. Eine Referenzarchitektur für die IIoT-Kommunikation	S. 19
5. Zusammenfassung und Ausblick	S. 23
Referenzen	S. 24
Abkürzungsverzeichnis	S. 25
Abbildungsverzeichnis	S. 26
Impressum und Kontakt	

# 1. EXECUTIVE SUMMARY

Digitalisierung und Vernetzung prägen ohne Zweifel schon in naher Zukunft unseren Alltag, aber auch die Art und Weise, wie Industrieunternehmen produzieren. Diese Entwicklung wird unter verschiedenen Begriffen diskutiert: Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) und Industrie 4.0 sind die gebräuchlichsten. In Deutschland ist zudem mit Industrial Data Space eine Initiative unter Federführung der Fraunhofer-Gesellschaft entstanden, die eng mit dem Konzept Industrie 4.0 zusammenwirkt. Ziel ist die Schaffung eines einheitlichen Datenraums, der branchenübergreifend den Austausch von Daten zwischen Unternehmen echtzeitnah ermöglicht, und das unter Wahrung hoher Datensicherheitsstandards. Dadurch können neue Geschäftsmodelle entstehen.

Angesichts dieser parallelen, teils gegenläufigen, teils komplementären, Initiativen und Konzepte stellt sich die Frage, wie sich diese Entwicklungslinien in einen technologisch-wirtschaftlichen Gesamtzusammenhang stellen lassen. Dafür ist aus dem Blickwinkel der hochvernetzten Produktion eine leistungsfähige, durchgängige (englisch: seamless) Vernetzung von zentraler Bedeutung. Nur so lassen sich „Grabenbrüche“ der Vergangenheit überwinden und neueste technologische Entwicklungen einbeziehen.

Eine Kommunikations-Referenzarchitektur schafft den Rahmen für ein Gesamtbild der industriellen Kommunikation von morgen. Ihr kommt vor allem die Aufgabe zu, die wachsende Komplexität zu bewältigen, die durch eine immer größer werdende Zahl von Geräten und Netzwerken entsteht. Anders gesagt: Sie löst die boomenden Insellösungen in der Produktion durch einen einheitlichen Referenzrahmen ab. Darüber hinaus trägt die Referenzarchitektur, die in der Standardisierung ein wichtiger Bestandteil ist, mittelfristig zur Kostenreduzierung gegenüber individuellen Lösungen in der Produktion bei.

Um die bereits genannte, extrem hohe Anzahl an Geräten und Kommunikationsbeziehungen abbilden zu können, ist in jedem Fall ein hierarchisches Architekturmodell erforderlich. Außerdem stellt die Echtzeitfähigkeit eine wichtige Anforderung dar. Von zentraler Bedeutung ist dabei die Durchgängigkeit der Datenübertragung, und zwar vom Sensor bis in die Manufacturing Execution Systeme (MES) des produzierenden Unternehmens und, weit darüber hinaus, in die ERP-Systeme von Lieferanten. Oder aber zu neuen Diensten, weil vom heutigen Standpunkt aus nicht klar ist, wie künftige produktionsunterstützende Systeme aussehen werden. Gerade die Anforderung der Durchgängigkeit ist unverzichtbar, um zwei wesentliche Grundbausteine von Industrie 4.0 zu realisieren: die horizontale Integration über Wertschöpfungsnetzwerke sowie die vertikale Integration der unterschiedlichen Hierarchieebenen von Produktionssystemen.

Für eine Kommunikations-Referenzarchitektur bieten sich drei Netzebenen an: das globale Internet, lokale Netze und mobile Netze. Als ergänzende logische Ebenen müssen Edge Computing und Cloud-Computing betrachtet werden.

In den lokalen Netzen findet die örtliche Vernetzung mit verschiedenen Zeitanforderungen statt. Kommunikation in harter Echtzeit, also im Mikrosekunden-Bereich etwa bei Maschinen und industriellen

Antrieben, wird weiter kabelbasiert bleiben. Jedoch steht dem Bereich Wireless auf der lokalen Netzebene ein starkes Wachstum bevor.

Über die Mobilfunktechnologie der 5. Generation ergibt sich eine Überlappung zu den mobilen Netzwerken. Während heutige 4G-Mobiltechnologien wie Long Term Evolution (LTE) im lokalen Bereich nicht so stark vertreten sind, lässt 5G hier eine deutlich höhere Präsenz erwarten. Ab 2020 zeichnet sich eine Verschmelzung von lokaler und mobiler Netzebene ab.

Im Hinblick auf die Anforderungen künftiger industrieller Datenübertragung wird sich das globale Internet weiterentwickeln. Speziell in Europa ist eine höhere Leistungsfähigkeit der Netzzugänge dringend erforderlich, wie es in vielen asiatischen Staaten bereits heute der Fall ist.

Neben den Netzebenen wird es zwei wichtige Hierarchiestufen geben, nämlich Edge Computing und Cloud-Computing. Auf der logischen Ebene des Edge Computing werden im Modell der Kommunikations-Referenzarchitektur auch lokale Server IT-Aufgaben übernehmen. Dies kann beispielsweise ein softwarebasierter Instandhaltungsdienst sein, der Hinweise gibt, wann die nächsten Wartungsarbeiten zu erledigen sind.

Durch Cloud-Computing müssen nicht mehr alle Daten direkt an der Maschine verarbeitet werden, rechnerintensive Prozesse können in öffentliche (Public Cloud) oder firmeneigene Rechenzentren (Private Cloud) ausgelagert werden. Dadurch bleiben die Maschinen selbst schlank, ressourcen- und wartungsarm, und gleichzeitig können die Vorteile der Digitalisierung voll ausgenutzt werden.

Das Fraunhofer ESK forscht aktiv an dieser Kommunikations-Referenzarchitektur für die Produktion der Zukunft. Es evaluiert auf lokaler Netzebene Funktechnologien und entwickelt offene Protokollstacks zwischen Edge- und Cloud-Computing-Ebene für die Produktionssteuerung in der Cloud. Damit die Funktechnologie industrietauglich wird und zum Beispiel die in lokalen Netzen geforderte Echtzeit erreicht, forscht das ESK an der Optimierung von lokalen Funktechnologien und der zuverlässigen Nutzung des verfügbaren Funkspektrums. Zusammen mit Huawei untersucht das ESK die konkreten Anwendungsfälle Smart Maintenance und Energy Management as a Service.

# 2. EINLEITUNG

## 2.1 Definition und Geschichte des IoT

Das World Economic Forum erwartet eine Revolution [1]: In den nächsten zehn Jahren, so die Organisation, werde das IoT Produktion, Energie, Landwirtschaft, Transport und andere Industriesektoren dramatisch verändern. Davon betroffen seien zwei Drittel des Bruttoweltprodukts. Auch die Art und Weise, wie Menschen arbeiten, unterliege durch neue Interaktionen zwischen Menschen und Maschinen einem grundlegenden Wandel.

Wir durchlaufen gerade die Startphase dieses fundamentalen Umbruchs. Schon jetzt erstreckt sich das IoT über viele Anwendungsgebiete – vom Wohnen und dem täglichen Leben über Sport und Fahrzeuge bis eben in die Industrie. Der Privatanutzer wird dadurch eine höhere Lebensqualität genießen, da die meisten Abläufe des täglichen Lebens sinnvoll unterstützt werden, zum Beispiel die Kontrolle wichtiger Vitalwerte und der tägliche Einkauf. Unternehmen profitieren von Effizienzsteigerung und Kostensenkung.

Im wissenschaftlichen Kontext findet die Definition des European Research Cluster on the Internet of Things (IERC) große Beachtung:

„A dynamic global network infrastructure with selfconfiguring capabilities based on standard and interoperable communication protocols where physical and virtual “things” have identities, physical attributes, and virtual personalities and use intelligent interfaces, and are seamlessly integrated into the information network.“ [2]

Diese Definition beschreibt anschaulich die Kerneigenschaften des IoT. Mit der Größenordnung, in der das IoT den Alltag in Zukunft verändern wird, befassen sich verschiedene Marktforschungs- und Beratungsunternehmen. So prognostiziert Gartner [3], dass im Jahr 2020 25 Milliarden vernetzte Dinge in Gebrauch sein werden. Zum Vergleich: 2015 lag deren Zahl bei knapp fünf Milliarden. Das Marktvolumen des IoT, überwiegend bezogen auf Geräte, Konnektivität und IT-Services, schätzt IDC [4] auf 1,7 Billionen US-Dollar im Jahr 2020. 2014 waren es noch 656 Milliarden. Das entspricht einer durchschnittlichen Wachstumsrate von 16,9 Prozent im Jahr.

Die rasante Entwicklung hat ihren Anfang eigentlich schon in den achtziger Jahren genommen, als die RFID-Technologie (radio-frequency identification) aufkam. RFID-Funketiketten boten das erste Mal die Möglichkeit, physischen Dingen auf elektronischem Weg digitale Identitäten zu geben. RFID ist jedoch eine passive Technologie ohne Eigenintelligenz.

In den frühen 2000er Jahren kamen zu RFID die Sensornetze (Wireless Sensor Networks WSN) zur Vernetzung intelligenter Sensoren. Diese erfassen Parameter in der Umgebung, etwa Luftdruck, Temperatur bis hin zu Bild-/Kamerainformationen, und können erste Daten-Vorverarbeitungen übernehmen. Die Sensoren kommunizieren drahtlos und sind in der Lage, eigene Netzinfrastrukturen zu bilden. Beflügelt wurde diese Entwicklung durch die Entstehung und Ausbreitung drahtloser Kommunikationsstandards, hier insbesondere IEEE 802.15.4 (Low Data Rate Wireless PAN, darauf aufbauend z.B. ZigBee), IEEE 802.15.1 (High Data Rate Wireless PAN, darauf aufbauend Bluetooth) sowie IEEE 802.11 (Wireless LAN). Die Integration von Sensorik und RFID-Tags in IT-Systeme, die schnell in der Warenwirtschaft und der Logistik aufgegriffen wurde, stellt praktisch die Keimzelle des IoT dar.

Aber schon vorher, nämlich 1991, leistete Mark Weiser mit seinen Betrachtungen über *ubiquitous computing* einen wichtigen konzeptionellen Beitrag zum IoT. In seinem Aufsatz "The Computer for the 21st Century" [5] erteilt er der Idee von Personal Computern eine klare Absage. Stattdessen skizziert er ein Anwendungsszenario, in dem Computer in den Hintergrund verschwinden, das heißt: Sie sind zwar aktiv in allen möglichen technischen Geräten und Gegenständen, als solche aber nicht direkt zu erkennen. Technologisch setzt *ubiquitous computing* nach Weiser drei Dinge voraus: kostengünstige Computer mit geringem Stromverbrauch und ebenso günstigen Displays, ein Netzwerk, das sie alle verbindet sowie Softwaresysteme, die Anwendungsszenarien („ubiquitous applications“) implementieren.

Mittlerweile ist das IoT ein globaler Trend, der vor allem von den großen internationalen IKT-Unternehmen wie Cisco, IBM, Huawei und Ericsson angetrieben wird. Der Begriff steht für das Ziel, die hohe Komplexität der zukünftigen Netze und Software-Systeme zu beherrschen und Mehrwerte für die Anwender zu schaffen. Daraus lassen sich dann wiederum neue Geschäftsmodelle in den verschiedensten Branchen ableiten.

## 2.2 Ausprägung des IoT in der Industrie: Industrie 4.0 und Industrial Internet Consortium (IIC)

Im Fertigungsumfeld hat sich rund um das Thema IoT der Begriff **Industrial Internet of Things (IIoT)** eingebürgert. Das Portal ITwissen.info definiert den Begriff folgendermaßen:

„Die Bezeichnung Industrial Internet of Things (IIoT) repräsentiert das industrielle Konzept eines Internet of Things (IoT), das andere IoT-Konzepte ist verbraucherorientiert. Das IIoT-Konzept ist ein Trend, der neben vielen anderen IT-Techniken der Verbesserung der betrieblichen Effektivität dient. Unternehmen können über das IIoT weiteres Unternehmenswachstum generieren und verbesserte Wettbewerbsbedingungen realisieren und damit die Zukunftsfähigkeit des Unternehmens sichern.“ [6]

Das IIoT kann laut dieser Definition in vielen Industrien eingesetzt werden, im produzierenden Gewerbe ebenso wie in der Agrarwirtschaft oder bei der Ressourcengewinnung, in Krankenhäusern und Einrichtungen für die Gesundheitsvorsorge ebenso wie in Vertriebs- und Logistikunternehmen. Eines der wichtigsten Aspekte von IIoT ist die Verbesserung der betrieblichen Effektivität durch intelligente industrielle Systeme und flexiblere Produktionstechniken.

Beispiele für den industriellen Einsatz sind laut dem Online-Portal in Unternehmen eingesetzte Smart Grids für die intelligente Energieversorgung oder die Ferndiagnose in der Telemedizin.

Aus Sicht des World Economic Forums reicht die prägende Kraft des IIoT jedoch weit über betriebswirtschaftliche Effekte hinaus:

„Es [das IIoT, d. Verf.] wird die globale Tragweite des Internets mit einer neuen Fähigkeit verbinden, nämlich die physikalische Welt direkt zu steuern, einschließlich Maschinen, Fabriken und Infrastruktur, die die moderne Landschaft prägen.“ [7]

## Industrie 4.0

Für diese hochvernetzte Produktion – von der Idee über die eigentliche Fertigung bis zu Wartung und Support – wird in Deutschland auch der Terminus Industrie 4.0 gebraucht:

„Industrie 4.0 steht [...] für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Dieser Zyklus orientiert sich an zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen. Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie bspw. Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen.“ [8]

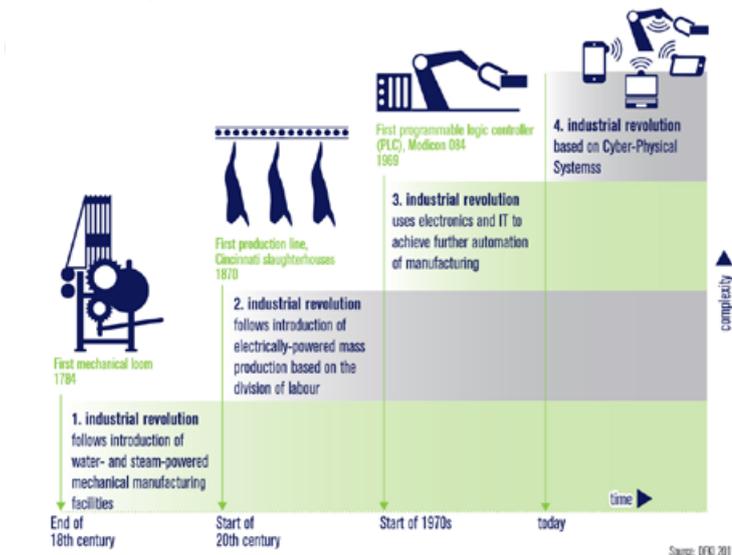


Abbildung 1:  
Die vier Phasen der  
Industriellen Revolution [9]

Acatech, die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, rückt technologische Aspekte stärker in den Mittelpunkt ihrer Definition:

„Industrie 4.0 meint im Kern die technische Integration von CPS [Cyber-physical Systems, d. Verf.] in die Produktion und die Logistik sowie die Anwendung des Internets der Dinge und Dienste in industriellen

Prozessen – einschließlich der sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Wertschöpfung, die Geschäftsmodelle sowie die nachgelagerten Dienstleistungen und die Arbeitsorganisation.“ [10]

Kernelemente von Industrie 4.0 sind:

- **horizontale Integration**, das heißt der Aufbau von Produktionsnetzen über Unternehmensgrenzen hinweg,
- **vertikale Integration**, also die flexible Vernetzung im Produktionsbereich innerhalb eines Unternehmens und das
- **durchgängige Engineering** von Produkten über den gesamten Lebenszyklus (Product Lifecycle Management).

Bei der horizontalen Integration kommen vor allem Cloud-Techniken zum Einsatz. Es geht um die unternehmensübergreifende Vernetzung der betrieblichen IT-Systeme (ERP, MES) zur Bildung von Produktionsnetzwerken. Hier kommen auch neue Datenhaltungs- und Verteilkonzepte zum Tragen, wie sie beispielsweise im Industrial Data Space definiert werden. [11]

Eine konzeptionelle Schnittmenge der Industrie 4.0 mit dem IIoT ist vor allem in der vertikalen Integration zu sehen. Hier geht es darum, die physische Welt der Produktionstechnik über Sensoren und Aktoren mit digitalen „Zwillingen“ zu CPS zu integrieren. Dies geht nur durch Technologien, wie sie auch im IIoT definiert werden.

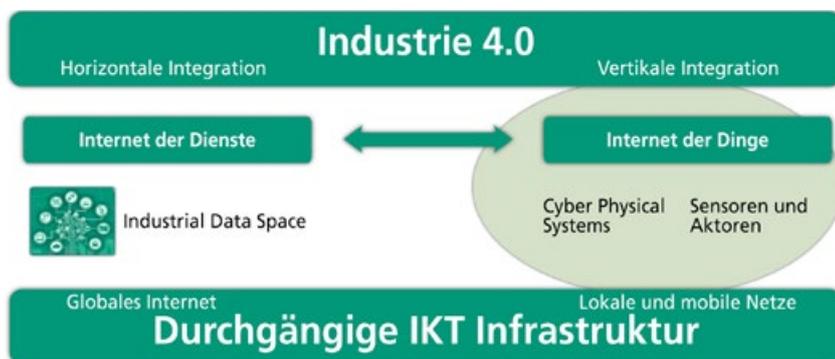


Abbildung 2:  
Einordnung von IIoT in die Industrie 4.0 [12]

### Industrial Internet Consortium (IIC) und weitere internationale Aktivitäten

Mittlerweile gibt es verschiedene europäische Initiativen, die dem deutschen Ansatz von Industrie 4.0 entsprechen: zum Beispiel „Usine du Futur“ (Fabrik der Zukunft) in Frankreich, die „smart industry“ in den Niederlanden, die „Industrial Strategy“ in Großbritannien oder die schwedische „Produktion 2030“. Der für Digitale Wirtschaft und Gesellschaft zuständige EU-Kommissar Günther Oettinger mahnt an, diese Initiativen zu europäisieren, auch

um die Entstehung eines weltweit angesehenen EU-Standards zu fördern [13]. Das unterstreicht auch die über die Technologie hinausgehende, strategische Dimension der industriellen Digitalisierung.

Dies gilt umso mehr, als die USA die Vorreiterrolle übernommen und das Industrial Internet Consortium (IIC) ins Leben gerufen haben. Diesem gehören neben den Gründungsmitgliedern AT&T, Cisco, General Electric, IBM und Intel auch deutsche Unternehmen wie Bosch und SAP an. Ziel der Organisation ist es, das Wachstum des Industrial Internet zu forcieren. Dies soll geschehen, indem best practices identifiziert, gebündelt und gefördert werden.

Das IIC zählt mittlerweile über 200 Mitglieder. Im Juni vergangenen Jahres hat das IIC seine Referenzarchitektur für das IIoT vorgestellt (s. unten). Als weiteren Schwerpunkt ihrer Arbeit bezeichnet die Organisation die Bereitstellung von *test beds*. Sechs solcher Testumgebungen existieren bereits, darunter solche für die Bereiche Predictive Maintenance, Highspeed-Datenübertragung, Smart Grids sowie für die Datenanalyse im Zusammenhang mit der hochvernetzten Produktion.

Eine dem amerikanischen IIC entsprechende Initiative in China heißt „China Integration und Innovation Alliance of Internet and Industry“ (CIIAII) und Japan treibt seine seine „Industrial Value Chain Initiative“ voran.

# 3. REFERENZARCHITEKTUREN FÜR DAS IOT IN DER INDUSTRIE

## 3.1 Die Rolle von Referenzarchitekturen

Eine Referenzarchitektur stellt eine Art Anleitung für die Systementwicklung dar. Sie liefert grundlegende Definitionen und spezifiziert Gemeinsamkeiten für alle Systeme, die auf ihr beruhen. In der Informations- und Kommunikationstechnik spielen aufgrund der Komplexität der Systeme Referenzarchitekturen eine große Rolle. Eine sehr bekannte Referenzarchitektur ist das ISO/OSI 7-Ebenenmodell, anhand dessen sich Kommunikationstechnologien und -systeme einordnen lassen. Dieses schon lange existierende Modell findet auch heute noch verbreitete Anwendung. Da es allerdings auf die reinen Kommunikationsaspekte fokussiert ist, ist es für die Beschreibung und Einordnung von Informations- und Kommunikationssystemen nicht ausreichend. Von daher ist es erforderlich, für Systeme, die über die reine Kommunikation hinausgehen und Aspekte der Informationsverarbeitung und Anwendungsorientierung beinhalten, eigene Referenzarchitekturen zu entwickeln.

Neben generischen IoT-Referenzarchitekturen stehen für IIoT vor allem die Referenzmodelle RAMI 4.0 der Industrie 4.0 sowie das Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) des IIC im heutigen Fokus.

## 3.2 IoT-Referenzarchitekturen

Für das IIoT gab es in den vergangenen Jahren einige Vorschläge für allgemeingültige Referenzarchitekturen.

Das IoT World Forum präsentierte 2015 eine sehr umfangreiche IoT-Referenzarchitektur auf Basis eines 7-Schichten-Modells (Abbildung 3). Die Architektur bildet alle erforderlichen Entitäten vom physischen Objekt bis hin zu Prozessen ab. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Rolle des Edge Computings gelegt, das die Schnittstelle zwischen hardwareorientierter Informationsverarbeitung (z. B. Sensoren, Maschinen), im Bild unten die Schichten 1 und 2, und den Verarbeitungsmechanismen der IT-orientierten Systeme (z. B. Datenanalyseverfahren) darstellt, entsprechend den Schichten 4 bis 7.

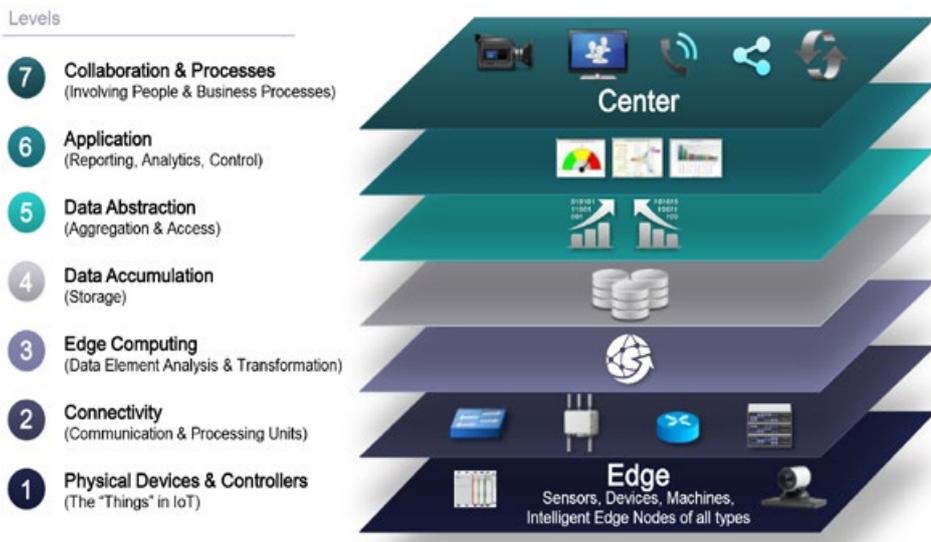


Abbildung 3:  
Das Sieben-Schichten-Modell des  
IoT (IoT World Forum) [14]

Weitere Arbeiten zu IoT-Referenzarchitekturen stammen aus dem EU-Projekt IoT-A und von der amerikanischen Firma WSO2. Während das EU-Projekt das Architectural Reference Model (ARM) herleitet und sich neben der Architektur auch stark mit Prozessen beschäftigt, verfolgt WSO2 einen eher einfachen, aus der Praxis abgeleiteten Architekturansatz.

Insgesamt sind diese allgemeinen IoT-Referenzmodelle noch sehr generisch gehalten und stellen wenig Bezüge zum IIoT her.

### 3.3 Das Referenzmodell RAMI 4.0 aus der Industrie 4.0

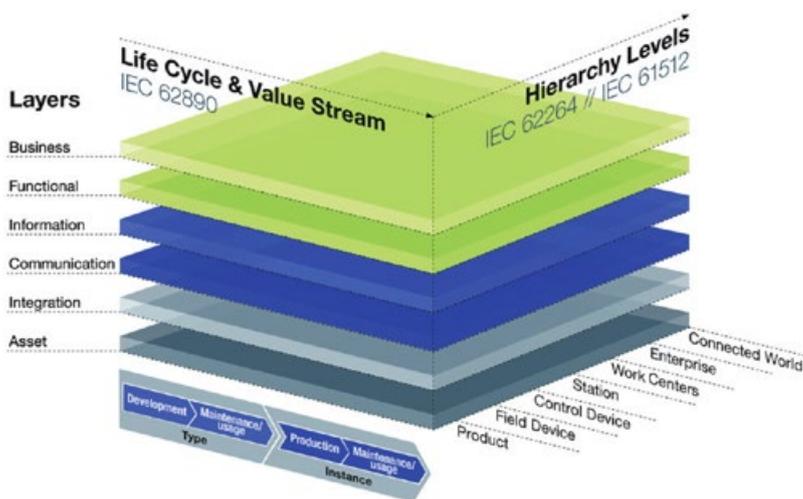


Abbildung 4:  
Das Modell RAMI 4.0  
der Plattform Industrie 4.0 [15]

Maßgeblich für das Referenzarchitekturmodell der Plattform Industrie 4.0 sind die internationalen Normenreihen IEC 62264 und IEC 61512. Das Modell trägt den Namen RAMI 4.0 und bildet drei Dimensionen ab, nämlich Hierarchy Levels, Life Cycle & Value Stream und Layers. Die Hierarchiestufen (Hierarchy Levels) entsprechen den Ebenen der gängigen Automatisierungspyramide. Dazu kommt die Stufe des Produkts beziehungsweise Werkstücks sowie das Umfeld über die Fabrik hinaus, die „Connected World“.

Der Life Cycle & Value Stream von RAMI 4.0 enthält erstmals die Dimension der Lebenszyklen von Anlagen und Produkten. Im Laufe der Entwicklung eines Produkts bilden sich zum Beispiel Maße und CAD-Werte heraus. Diese Daten über den Lebenszyklus dieses Produktes liegen in der sogenannten Verwaltungsschale. RAMI 4.0 beinhaltet eine Achse für den kompletten Lebenszyklus eines Produktes. Das Produkt gilt zunächst als neuer Typ (Type). Es wird in der Serienproduktion als Instanz (Instance) zu dem einmal entwickelten Typ betrachtet und bekommt dann eine Seriennummer.

Die Industrie 4.0-Komponente stellt das Grundkonzept dar, wie die durch Vernetzung verfügbaren Informationen genutzt werden können. Sie setzt sich zusammen aus dem realen Asset und der virtuellen Verwaltungsschale, die wie ein unabhängiges Datenobjekt behandelt wird, das heißt: Sie muss nicht notwendigerweise im Asset selbst liegen, sondern kann als virtuelles Objekt existieren. Für den Zugriff auf Daten und Funktionen gilt das Prinzip „Separation of Concerns“. Demnach ist eine Beeinflussung der für die Fertigung kritischen Abläufe nach dem Stand der Technik ausgeschlossen.

Industrie 4.0-Komponenten sind aufgrund standardisierter Semantiken in der Lage, untereinander zu kommunizieren. Dabei können mehrere Industrie 4.0-Komponenten Funktionsblöcke bilden. Nach außen repräsentiert eine gemeinsame Verwaltungsschale den gesamten Block. [16]

### 3.4 Die Industrial Internet Reference Architecture des IIC

Die Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) wurde in einer ersten kompletten Version im Jahr 2015 durch das IIC verabschiedet und in Form eines ersten Technical Reports veröffentlicht. Die Referenzarchitektur dient der grundlegenden Definition von Industrial Internet Systems (IIS). Diese Systeme werden definiert als Ende-zu-Ende-Anwendungssysteme für industrielle Aufgaben. Sie beinhalten technische Komponenten ebenso wie die Interaktionen mit Nutzern.

Die Beschreibung der IIRA selbst basiert auf dem Industrial Internet Architecture Framework (IIAF), das grundlegende Konventionen, Prinzipien und Definitionen liefert. Dabei baut das IIAF auf den internationalen Standard ISO/IEC/IEEE 42010:2011 auf. Hieraus übernimmt das IIAF grundlegende Architekturbeschreibungs-Konstrukte, zum Beispiel Concern (Belang), Stakeholder (Interessensvertreter) und Viewpoint (Blickwinkel). Die Viewpoints sind die grundlegenden Ebenen beim Aufbau der IIRA. Dabei werden vier Viewpoints für die Beschreibung festgelegt:

- **Business Viewpoint:** umfasst alle betriebswirtschaftlichen Concerns beim Aufbau eines IIS sowie die regulatorischen Rahmenbedingungen. Dabei werden grundlegende Systemeigenschaften definiert, die an den Geschäftszielen orientiert sind. Die Stakeholder mit diesem Viewpoint sind in der Regel Führungskräfte, Produktmanager und Systemingenieure.
- **Usage Viewpoint:** umfasst alle Concerns zur Nutzung eines IIS. Eine typische Repräsentation ist die Beschreibung von Bedienabläufen.
- **Functional Viewpoint:** fokussiert auf die funktionalen Komponenten eines IIS. Dabei spielen deren Zusammenhänge, Struktur, Schnittstellen und Interaktionen eine Rolle. Ebenfalls von Relevanz sind auf dieser Ebene die Interaktionen eines IIS mit seiner Umwelt.
- **Implementation Viewpoint:** behandelt die benötigten Technologien zur Umsetzung eines IIS. Dabei stehen funktionale Komponenten, deren Vernetzung und Kommunikationsschnittstellen sowie auch deren Produktlebenszyklen im Fokus. Die hier zusammengefassten Concerns sind vor allem für Komponentendesigner, Systementwickler und Integriatoren von hoher Relevanz.

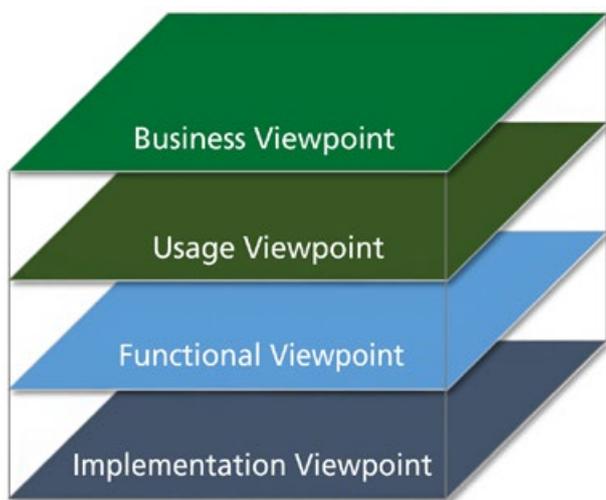


Abbildung 5:  
Die Grundebenen der IIRA [17]

In einem zweiten Teil der Beschreibung werden durch die IIRA Key System Concerns beschrieben. Als Key System Concern werden dabei folgende gesehen:

- Safety: Funktionale Sicherheit
- Security, Trust and Privacy: IT-Sicherheit und Datenschutz
- Resilience: Zuverlässigkeit
- Integrability, Interoperability and Composability: Skalierbare Integrierbarkeit und Interoperabilität
- Connectivity: Vernetzung
- Data Management: Integrierte Datenverwaltung
- Analytics and Advanced Data Processing: Erweiterte Fähigkeiten der Datenanalyse
- Intelligent and Resilient Control: Robuste Steuerungen
- Dynamic Composition and Automated Interoperability: Ad-hoc-Fähigkeiten und Plug-and-play

Fazit

Die Referenzarchitekturen RAMI 4.0 und IIRA beschreiben den logischen Aufbau von Gesamtsystemen und Prozessen im Umfeld des IIoT: Der Fokus liegt dabei auf der einheitlichen Definition von Abstraktionsebenen und semantischen Zusammenhängen. Dabei wird allerdings die Abbildung der logischen Architekturen auf verteilte Informations- und Kommunikationssysteme außer Acht gelassen. Aufgrund der zu erwartenden hohen Komplexität des Industrial IoT besteht jedoch der Bedarf, auch hierfür eine Referenzarchitektur zu definieren und die logischen Referenzmodelle darauf abzubilden.

## 4. EINE REFERENZARCHITEKTUR FÜR DIE IIOT-KOMMUNIKATION

Zielsetzung einer Referenzarchitektur für die IIoT-Kommunikation ist es, ein einheitliches physikalisches Architekturmodell zu schaffen, auf dessen Basis sich verschiedene logische Referenzarchitekturen eines realen IIoT umsetzen lassen (Abbildung 6).

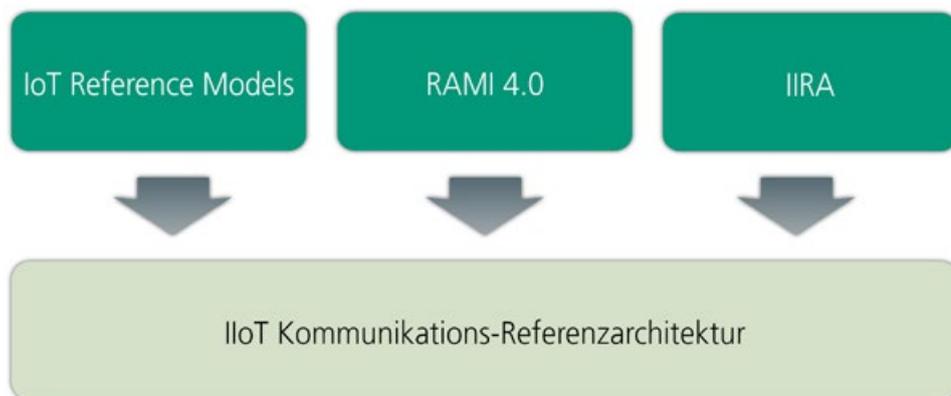


Abbildung 6: Zielsetzung einer physikalischen Kommunikations-Referenzarchitektur für das IIoT [18]

Wesentliche Anforderungen an eine IIoT-Referenzarchitektur sind:

- **Skalierbarkeit:** Es muss gewährleistet sein, dass sich auf Basis der Referenzarchitektur IIoT in verschiedenen Größenordnungen integrieren lassen.
- **Echtzeitfähigkeit:** Da viele industrielle Prozesse deterministischen Zeitanforderungen unterliegen, muss sichergestellt werden können, dass verschiedene Klassen zeitlicher Anforderungen durch die Referenzarchitektur abgebildet werden können.
- **Interoperabilität:** Der Großteil der zu integrierenden Geräte muss auf offenen Kommunikationsstandards beruhen. Spezialsysteme, etwa für harte Echtzeitaufgaben, die keine offene Kommunikation erlauben, müssen über Gateways in eine offene Kommunikationsarchitektur eingebunden werden können.
- **Datenschutz und Sicherheit:** Der Schutz privater Daten ist in der Referenzarchitektur durch geeignete Mechanismen sicherzustellen. Gleichfalls ist es unabdingbar, Mechanismen zu integrieren, die eine unerlaubte Nutzung und Manipulation von Daten untersagen.

Folgender Architekturansatz wird vorgeschlagen:

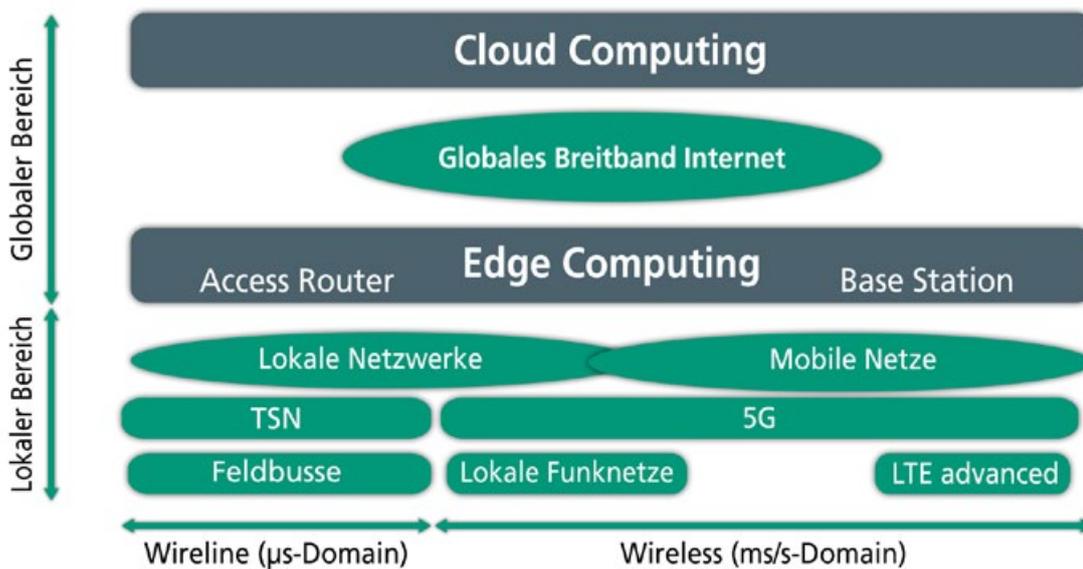


Abbildung 7:  
Die Kommunikations-Referenz-  
architektur [19]

Die Referenzarchitektur verfügt über zwei grundlegende Bereiche: Der lokale Bereich dient der Vernetzung zwischen den physischen Geräten und einer ersten logischen Informationsebene, dem Edge Computing.

Der globale Bereich umfasst die Vernetzung zwischen Diensten und Anwendungen des Edge Computings und Diensten und Anwendungen, die auf der Ebene des Cloud-Computing zur Verfügung gestellt werden.

Edge Computing und Cloud-Computing bilden die logischen Ebenen, auf denen digitale Dienste und Anwendungen implementiert werden können.

In der Abbildung 7 ist eine Ausprägung der Architektur in der Variante einer Public Cloud dargestellt. Hierbei wird über das öffentliche Internet eine Verbindung zwischen einer lokalen Komponente (zum Beispiel einem Access Router) zu einem Cloud-Dienst in einem Public-Cloud-Rechenzentrum (zum Beispiel T-Systems Opencloud) hergestellt. Eine andere Variante, die hier nicht dargestellt ist, ist die Einbindung in einen Cloud-Dienst, der in einem eigenen Rechenzentrum innerhalb eines Unternehmens (on premise) betrieben wird. Hierbei kann die Anbindung des Cloud-Computings auch in einem lokalen Netzwerk (Enterprise Network) erfolgen.

Aus Sicht der Industrie und aus Sicht der Mobilfunkanbieter besteht ein unterschiedliches Verständnis von Edge Computing. Für die Industrie ist „Edge“ eine Produktionszelle oder der Übergang nach außen (LAN/WLAN). Für den Netzbetreiber liegt „Edge“ in der Network Access/Aggregation Sicht.

Mobiles Edge Computing (MEC) im Mobilfunknetz bietet Anwendungsentwicklern und Content Providern Cloud-Computing-Möglichkeiten und eine IT-Service-Umgebung am Rand des mobilen Netzwerks. Charakteristika dieser Umgebung sind eine besonders niedrige Latenz, eine große Bandbreite sowie Echtzeit-Zugang zu Informationen aus dem Funknetz, die von Applikationen genutzt werden können.

MEC stellt damit ein neues Ökosystem und eine neue Wertschöpfungskette zur Verfügung. Netzbetreiber können den Edge-Bereich ihres Radio Access Network (RAN) für autorisierte dritte Parteien öffnen und ihnen erlauben, innovative Applikationen und Dienste schnell und flexibel für Endkunden, Unternehmen und vertikale Segmente bereitzuhalten.

Anwendungsgebiete sind unter anderem Videoanalysen, ortsbezogene Dienste, Augmented Reality, optimierte lokale Distribution von Inhalten sowie Data Caching. [20]

Das Konzept des Edge Computings wird in der Architektur auch auf lokale Netzwerke angewendet. Eine Edge-Computing-Komponente muss daher in einem lokalen privaten Netzwerk (on premises server) umgesetzt werden.

Zusätzlich zum Edge Computing ist davon auszugehen, dass zukünftig viele digitale Dienste in der Industrie über Cloud-Computing angeboten werden. Dabei sind verschiedene Organisationsformen von Clouds (public, private, hybrid) sowie deren technische Realisierungen (IaaS, PaaS, SaaS) vorstellbar.

Eine zentrale Aufgabe im Entwurf zukünftiger digitaler Dienste und Anwendungen wird es sein, eine entsprechende Aufteilung der Funktionalität auf Edge Computing und Cloud-Computing vorzunehmen. Hierbei spielen technische Aspekte der Quality-of-Service (QoS), hier vor allem Echtzeitanforderungen bei Diensten, aber auch organisatorische, z.B. die autonome Handlungsfähigkeit im Falle eines Netzausfalls oder verfügbare Service-Level-Agreements, eine Rolle.

Bei der Vernetzung ist in den meisten Fällen davon auszugehen, dass Edge-Computing-Komponenten und Cloud-Computing-Rechenzentren über breitbandige Internetverbindungen oder Enterprise Networks miteinander vernetzt sind.

Die Vernetzung der „things“ wird hingegen auch in Zukunft durch heterogene Netze geprägt sein, wobei

tendenziell das Internetprotokoll in vielen Szenarien bis hin zu Sensoren und Aktoren eingesetzt wird. Hierbei wird von zwei Klassen ausgegangen, den **lokalen** Netzen und den **mobilen** Netzen. Im Bereich der lokalen Vernetzung im industriellen Bereich ist heute eine Vielzahl vor allem unternehmensgetriebener Lösungen (leitungsgebunden und drahtlos) zu beobachten. Zur Schaffung offener interoperabler Kommunikationsstrukturen ist eine stärkere Verbreitung standardbasierter Kommunikation erforderlich. Allerdings ist davon auszugehen, dass für dedizierte Aufgaben weiterhin Spezialsysteme vorhanden sein werden. Dies trifft zum Beispiel für den Bereich der Hard-Realtime-Anwendungen zu. Hierzu zählen in der Regel Antriebssteuerungen, die durch die hohen mechanischen Genauigkeitsanforderungen Reaktionszeiten im zweistelligen Mikrosekundenbereich ( $\leq 100\mu\text{s}$ ) und extrem kurze Jitterzeiten ( $\leq 1\mu\text{s}$ ) erfordern. Echtzeitbusse wie Ethernet for Control Automation Technology (EtherCAT), das als IEC 61158 standardisiert wurde, oder SERCOS III, standardisiert nach IEC/EN 61491, können derartige Anforderungen erfüllen. Funktechnologien sind in diesem Einsatzbereich nicht zu erwarten.

Eine wichtige aufkommende Technologie für die lokale Echtzeit-Ethernet-Kommunikation ist das von der IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking Task Group standardisierte Time Sensitive Networking (TSN). Diese Standardfamilie definiert in einer Reihe von Substandards verschiedene Funktionalitäten für eine unternehmensweite interoperable Echtzeit-Ethernet-Kommunikation, die ebenfalls bis in den Mikrosekundenbereich hineinreicht und Aufgaben heutiger Hard-Realtime Systeme übernehmen wird. [21]

Für die lokale Vernetzung des IIoT wird zukünftig neben der leitungsgebundenen Übertragung vor allem der drahtlosen Datenübertragung eine hohe Bedeutung zukommen.

Zu unterscheiden sind hier lokale Funknetze und Mobilfunktechnologien. Zu ersteren zählen Technologien wie Bluetooth, ZigBee, LPWA. Letztere werden sich in der aktuellen 4. Generation durch LTE advanced pro [22] und in der zukünftigen 5. Generation 5G sehr stark auf das IoT ausrichten. Eine wichtige Eigenschaft wird auch hier die verbesserte Echtzeitfähigkeit sein. So können 4G-Übertragungen Latenzzeiten bis zu 10ms erreichen, bei 5G sollen diese auf bis zu 1ms reduziert werden. Wenn das gelingt, kann der zukünftige Mobilfunk einen großen Stellenwert bei der Vernetzung von IIoT-Szenarien einnehmen und eine Reihe bestehender Technologien ablösen. Durch die grundlegende Architekturausrichtung von 5G auf Netzwerkvirtualisierung (SDN, NFV) ist es auch denkbar, lokale Netzwerke als Access-Domänen in zukünftige 5G-Netze mit aufzunehmen. Dadurch kann 5G auch in den Bereich lokaler Netzwerke hineinragen.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Bereits existierende Referenzarchitekturen für das IIoT wie RAMI 4.0 und IIRA lassen die Abbildung der logischen Architekturen auf verteilte Informations- und Kommunikationssysteme außer Acht. In diesem Whitepaper wird der Versuch unternommen, diese Lücke zu schließen und ein Architekturmodell für eine solche IIoT-Kommunikation zu entwerfen. Ziel ist es, ein einheitliches Modell zu schaffen, auf dessen Basis sich verschiedene semantische Referenzarchitekturen eines realen IIoT umsetzen lassen.

Eine IIoT-Kommunikations-Referenzarchitektur muss die wichtigsten Anforderungen erfüllen, nämlich Skalierbarkeit, Echtzeitfähigkeit, Interoperabilität sowie Datenschutz und Sicherheit. Sie verbindet den lokalen mit dem globalen Bereich und betrachtet Edge Computing und Cloud-Computing als logische Ebenen, auf denen digitale Dienste und Anwendungen implementiert werden können.

Als nächsten Schritt werden die Verfasser dieses Whitepapers ihr Modell mit den relevanten Organisationen und Unternehmen diskutieren. Dabei steht im Mittelpunkt, die vorgestellte Kommunikations-Referenzarchitektur mit den bereits vorhandenen Modellen abzugleichen und dabei auch neueste Technologien einzubeziehen. Im Anschluss daran gilt es, in Zusammenarbeit mit Unternehmen und Organisationen die Umsetzung in die Praxis in Angriff zu nehmen.

# REFERENZEN

- [1] World Economic Forum (Hrsg.), Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services, 2015, [http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA\\_IndustrialInternet\\_Report2015.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA_IndustrialInternet_Report2015.pdf)
- [2] [http://www.internet-of-things-research.eu/about\\_iiot.htm](http://www.internet-of-things-research.eu/about_iiot.htm)
- [3] Gartner Says 4.9 Billion Connected „Things“ Will Be in Use in 2015, <http://www.gartner.com/newsroom/id/2905717>
- [4] Explosive Internet of Things Spending to Reach \$1.7 Trillion in 2020, According to IDC, <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS25658015>
- [5] Mark Weiser, The Computer for the 21st Century, in: ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 3, Jhg., Nr. 3, Juli 1999, 3-11
- [6] <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/industrial-Internet-of-things-IIoT.html>
- [7] World Economic Forum (Hrsg.), Industrial Internet of Things: Unleashing the Potential of Connected Products and Services, 2015, S. 3: [http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA\\_IndustrialInternet\\_Report2015.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA_IndustrialInternet_Report2015.pdf)
- [8] Memorandum der Plattform Industrie 4.0., [http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/memorandum%20der%20plattform%20industrie%204.0.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/memorandum%20der%20plattform%20industrie%204.0.pdf?__blob=publicationFile&v=1)
- [9] DFKI, 2011, in: Acatech: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 vgl. [www.acatech.de](http://www.acatech.de)
- [10] H. Kagermann, W. Wahlster, J. Helbig, Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, acatech, 2013
- [11] Zum Konzept des Industrial Data Space der Fraunhofer-Gesellschaft vgl. <https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/presse-medien/2015/industrial-data-space-eckpunkte.pdf>
- [12] Fraunhofer ESK
- [13] Günther Oettinger, Von 0:4 zu 4.0: Wenn Europa mit Amerika mithalten will, braucht es eine digitale Strategie, in: Internationale Politik, 70. Jhg., Nr. 4, Juli/August 2015, S. 22
- [14] Jim Green u.a., Building the Internet of Things, IoT World Forum 2014
- [15] Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0, April 2015
- [16] Vgl. die gute Überblicksdarstellung unter <http://www.produktion.de/trends-innovationen/die-referenzarchitekturen-fuer-das-internet-of-things-und-industrie-4-0-235.html>
- [17] Industrial Internet Consortium, Industrial Internet Reference Architecture, 2015
- [18] Fraunhofer ESK
- [19] Fraunhofer ESK
- [20] <http://www.etsi.org/technologies-clusters/technologies/mobile-edge-computing>
- [21] <http://www.ieee802.org/1/pages/tsn.html>
- [22] [http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1745-lte-advanced\\_pro](http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1745-lte-advanced_pro)

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ARM	Architectural Reference Model
CIIAI	China Integration and Innovation Alliance of Internet and Industry
CPS	Cyber-physical Systems
EtherCAT	Ethernet for Control Automation Technology
IERC	European Research Cluster on the Internet of Things
IIAF	Industrial Internet Architecture Framework
IIC	Industrial Internet Consortium
IIoT	Industrial Internet of Things
IIRA	Industrial Internet Reference Architecture
IIS	Industrial Internet Systems
IoT	Internet of Things
LTE	Long Term Evolution
MEC	Mobile Edge Computing
MES	Manufacturing Execution System
NFV	Network Function Virtualization
PAN	Personal Area Network
QoS	Quality-of-Service
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0
RAN	Radio Access Network
RFID	Radio-Frequency Identification
SDN	Software Defined Networking
TSN	Time Sensitive Networking
WSN	Wireless Sensor Network

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Die vier Phasen der Industriellen Revolution	S. 11
Abbildung 2: Einordnung von IIoT in die Industrie 4.0	S. 12
Abbildung 3: Das Sieben-Schichten-Modell des IoT	S. 15
Abbildung 4: Das Modell RAMI 4.0 der Plattform Industrie 4.0	S. 16
Abbildung 5: Die Grundebenen der IIRA	S. 18
Abbildung 6: Zielsetzung einer physikalischen Kommunikations-Referenzarchitektur für das IIoT	S. 19
Abbildung 7: Die Kommunikations-Referenzarchitektur	S. 20

# Impressum und Kontakt

Industrial Internet of Things:  
Referenzarchitektur für die Kommunikation

## Herausgeber und Kontakt

Fraunhofer-Institut für Eingebettete Systeme und Kommunikationstechnik ESK  
Hansastr. 32  
80686 München

Telefon: 089 547088-0  
Fax: 089 547088-220  
info@esk.fraunhofer.de  
www.esk.fraunhofer.de

### Autoren:

Dr.-Ing. Mike Heidrich  
Geschäftsfeldleiter Industrial Communication  
Fraunhofer ESK

Dr. Jesse Jijun Luo  
Director, Solution Management and Marketing Europe  
Huawei Technologies Düsseldorf GmbH

### Redaktion:

Hans-Thomas Hengl  
Telefon: 089 547088-396  
hans-thomas.hengl@esk.fraunhofer.de

Bitte rufen Sie uns an, wenn Sie Fragen haben, weitere Informationen oder ein konkretes Angebot wünschen.

© Fraunhofer-Institut für Eingebettete Systeme und Kommunikationstechnik ESK, München 2016.  
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck sowie Übersetzung nur mit schriftlicher Genehmigung der Redaktion.

