

DISKUSSIONSPAPIER



Netzkommunikation für Industrie 4.0

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Wirtschaft
und Energie (BMWi)
Öffentlichkeitsarbeit
11019 Berlin
www.bmwi.de

Redaktionelle Verantwortung

Plattform Industrie 4.0
Bertolt-Brecht-Platz 3
10117 Berlin

Gestaltung und Produktion

PRpetuum GmbH, München

Stand

April 2016

Bildnachweis

denisismagilov – Fotolia (Titel), Coloures-pic – Fotolia (S. 3),
fotohansel – Fotolia (S. 4), ninog – Fotolia (S. 7), sdecoret –
Fotolia (S. 8), sellingpix – iStockphoto (S. 10)

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Nicht zulässig ist die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben von Informationen oder Werbemitteln.



Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie ist mit dem audit berufundfamilie® für seine familienfreundliche Personalpolitik ausgezeichnet worden. Das Zertifikat wird von der berufundfamilie gGmbH, einer Initiative der Gemeinnützigen Hertie-Stiftung, verliehen.



Diese und weitere Broschüren erhalten Sie bei:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Referat Öffentlichkeitsarbeit
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
www.bmwi.de

Zentraler Bestellservice:
Telefon: 030 182722721
Bestellfax: 030 18102722721



Inhalt

1. Einleitung	3
2. Grundlagen	4
3. Anforderungsanalyse	7
4. Bewertungen und erste Empfehlungen	8
5. Ausblick auf künftige Kommunikationsstandards	10
Autoren	11

1. Einleitung

Motivation

Die Basis für Industrie 4.0 ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen durch eine anwendungsgerechte Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen. Diese Vernetzung muss flexibel parametrisierbar und sicher sein und die benötigte Dienstqualität bieten. Grundlage dafür sind international standardisierte, drahtlose und leitergebundene Lösungen für eine lokale, regionale und globale Kommunikation.

Netzkommunikation ist ein wichtiges Element bei der Veränderung der klassischen industriellen Fertigungspyramide hin zu einem durchgängigen Netzwerk verteilter Systeme. Sie ermöglicht die Neuorientierung von existierenden Geschäftsbeziehungen und die Schaffung neuer Wertschöpfungsnetze.

Zielstellung der Unterarbeitsgruppe Netzkommunikation

Die UAG Netzkommunikation der AG1 „Referenzarchitekturen, Standards und Normung“ der Plattform Industrie 4.0 verfolgt das Ziel, Empfehlungen zur zukünftigen Entwicklung und Standardisierung von Lösungen für die Netzkommunikation für Industrie 4.0 zu erarbeiten. Es werden wesentliche Anforderungen an eine solche Netzkommunikation identifiziert und bestehende bzw. in Arbeit befindliche Standards und Normen bewertet. Der Entwurf eines Referenzmodells für die Netzkommunikation als Ergänzung zu RAMI 4.0, das dazu dient, verschiedene Szenarien und Anforderungen an die Netzkommunikation zu strukturieren, ist eine zentrale Aktivität der Unterarbeitsgruppe. Wesentlicher Teil dieses Referenzmodells sind dabei solche Dienste, über die Anwendungen die erforderliche Netzparametrierung Industrie 4.0-konform verhandeln können. Dies ist ein wesentlicher Teil der Selbstkonfiguration der Produktionssysteme in Industrie 4.0.





2. Grundlagen

Begriffsdefinitionen

Grundlage für das Erreichen der o. a. Ziele ist eine klare Definition von wichtigen Begriffen, insbesondere vor dem Hintergrund, dass bei Industrie 4.0 unterschiedliche technische Fachrichtungen, die bisher wenige Berührungspunkte hatten, eng miteinander verzahnt werden (z. B. Maschinenbau mit Informations- und Kommunikationstechnik). Viele grundlegende Begriffe und Definitionen für Industrie 4.0 wurden von der Arbeitsgruppe VDI FA 7.21 erarbeitet [1] oder sind gerade in der Entstehung [2]. Für die UAG sind insbesondere Begriffe wie Industrie 4.0-Komponenten, Verwaltungsschale, Assets, Sicherheit, Verfügbarkeit, Quality of Service (QoS) von besonderer Bedeutung.

Für „Netzkommunikation“ wird folgende Definition vorgeschlagen:

Netzkommunikation für Industrie 4.0 umfasst alle Technologien, Netze und Protokolle, die benötigt werden, um eine Kommunikationsbeziehung zwischen zwei oder mehreren Industrie 4.0-Komponenten zu ermöglichen. Anwendungen müssen über Industrie 4.0-konforme Schnittstellen ihre Ende-zu-Ende-Kommunikation aushandeln können. Die Orchestrierung der verwendeten Netzressourcen kann auch über nicht Industrie 4.0-konforme Schnittstellen erfolgen.

Verfügbare und in Entwicklung befindliche Standards und Normen

Es gibt bereits eine Vielzahl von verfügbaren sowie in Entwicklung befindlicher drahtloser und leitergebundener Standards für Kommunikationsnetze, die in der industriellen Fertigung bzw. für Industrie 4.0 relevant sind. Strukturiert man diese nach ihrer Reichweite, so ergibt sich folgende Situation:

Standards und Normen für großflächige oder globale Vernetzungen

- Zur Vernetzung von Assets, die großräumig verteilt sind (z. B. über ein ganzes Land) oder die mobil sind (z. B. im Bereich Logistik), kommen aufgrund ihrer flächendeckenden Verfügbarkeit häufig **Mobilfunknetze** zum Einsatz. Im Gegensatz zu lokaler Funkkommunikation setzen Mobilfunkstandards dabei auf lizenzpflichtigen Frequenzbändern auf. Viele dieser bisher als M2M (Machine-to-Machine) bezeichneten Anwendungen basieren auf dem GSM-Netz. Die GSM-Netze sind allerdings bzgl. der Datenraten auf wenige 100 kbit/s begrenzt, deutlich höhere Datenraten sind mit 3G- oder LTE-Netzen möglich. Um effizient eine große Zahl von in der Fläche befindlichen (batteriebetriebenen) Sensoren oder Aktoren vernetzen zu können, werden derzeit bei 3GPP Standards für „Low Power Wide Area (LPWA)-Szenarien entwickelt, die als

Ergänzung zu den bereits bestehenden Lösungen zu sehen sind. Dabei ist zu beachten, dass die Funktechnik zumeist die Zugangsnetze, also sozusagen die „letzte Meile“, abdeckt; die Vernetzung auf globaler Ebene erfolgt dann wiederum drahtgebunden.

- Zur nationalen oder globalen Vernetzung von stationären Endpunkten, z. B. Vernetzung mehrerer verteilter Unternehmensstandorte, bieten sich **leitergebundene Lösungen** an, welche auch das Internet im weitesten Sinne einschließen. Stand der Technik sind durch VPN (Virtual Private Networks) abgesicherte Verbindungen auf der Basis von Glasfaser-Netzen. Teilweise kommen auch DSL-Netze oder Satelliten-basierte Lösungen für den Netzzugang zum Einsatz.

Standards und Normen für Produktionszellen und lokale Vernetzungen:

- In diesem Bereich kommen bisher primär verschiedene **drahtgebundene Feldbusse** und Ethernet-basierte industrielle Kommunikationssysteme zum Einsatz, insbesondere bei Anwendungen mit sehr hohen Anforderungen bzgl. Zuverlässigkeit und Latenzzeiten. Eine Weiterentwicklung des Ethernet-Standards in Richtung garantierter Zykluszeiten erfolgt derzeit bei IEEE 802.1 unter der Überschrift „Time Sensitive Networks“ (TSN).
- Leitergebundene Vernetzungslösungen werden ergänzt durch vielfältige allgemeine Standards für **drahtlose** lokale Netze, z. B. Wi-Fi, DECT ULE, Bluetooth oder 6LoWPAN, die teilweise für den industriellen Einsatz spezifisch modifiziert („gehärtet“) sind (z. B. Mehrfachübertragungen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit). Außerdem gibt es spezifische Standards für lokale Funknetze in Produktionsumgebungen, z. B. „WirelessHART“ nach IEC 62591. Allerdings erfüllen bisher verfügbare Funkstandards in der Regel nicht die stringenten Latenz- und Zuverlässigkeitsanforderungen für einen Einsatz in einer Produktionszelle, z. B. für Bewegungssteuerungen. Weiterentwicklungen dazu finden u. a. bei IEC 62948 statt (Industrial networks – Wireless communication network and communication profiles). Darüber hinaus beschäftigt sich das BMBF-Programm „Zuverlässige drahtlose Kommunikation in der Industrie (ZDKI)“ mit dieser Thematik.

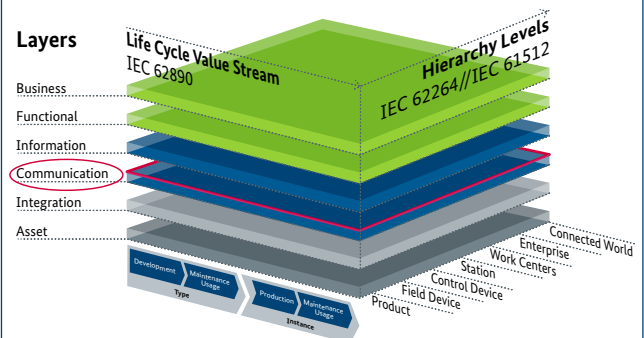
IP-Konvergenz ist bei allen genannten Bereichen eine Chance für durchgängige Ende-zu-Ende-Kommunikation

auf Anwendungsseite. Dies erfordert jedoch eine übergreifende Netzsteuerung von der lokalen Produktionszelle bis hin zu den globalen Netzen einer „Connected World“.

Bezug zu RAMI 4.0

Das Internet der Dinge – und damit IP-konvergierte lokale und globale Kommunikationsinfrastrukturen – sind Kernbestandteil von Industrie 4.0. Kommunikation ist eine der Kernschichten des inzwischen global etablierten Referenzarchitekturmodells Industrie 4.0 (RAMI 4.0) [3]. Im RAMI 4.0 sind alle für Industrie 4.0 wichtigen Aspekte hinsichtlich Lebenszyklen, Hierarchieebenen sowie Prozess- bzw. IT-orientierten Ebenen in einem generischen Modell vereint. Der „Communication Layer“ als die Ebene, in der die Netzkommunikation realisiert wird, ist dabei das Bindeglied zwischen dem „Integration Layer“, der Eigenschaften der physischen Welt für Computersysteme zugreifbar macht (die Assets „digitalisiert“), und dem „Information Layer“. Der „Information Layer“ enthält die funktionsbezogenen Daten und stellt damit Ziel und Quelle der zu übertragenden Informationen dar (Abbildung 1).

Abbildung 1: RAMI 4.0 mit Communication Layer



Quelle: Plattform Industrie 4.0 und ZVEI

In diesem Zusammenhang ergeben sich daher für die UAG Netzkommunikation folgende Kernfragen:

1. Welche Kommunikationsfunktionalität benötigt die Informationsschicht, welche die in der Industrie 4.0-Verwaltungsschale [4] beschriebenen Daten und Funktionen beschreibt/beinhaltet? Diese Anforderungen sind von den Informationsnutzern, also der funktionalen Ebene, zu beantworten.

2. Wie werden die Kommunikationsfunktionalitäten über Industrie 4.0-konforme Schnittstellen verfügbar gemacht? In anderen Worten: Wie sehen die Verwaltungsschalen der Kommunikations-Assets aus? Dies muss zur Sicherstellung der Interoperabilität von Industrie 4.0-Systemen von der Informationsebene vorgegeben werden.
3. Welches sind die relevanten Security-Aspekte und wie werden diese in der Referenzarchitektur berücksichtigt?

Die Schichten 1–4 des ISO/OSI-Schichtenmodells von Kommunikationssystemen werden damit zu Assets und zusammen mit ihren Verwaltungsschalen zu Industrie 4.0-Komponenten. Die Verwaltungsschalen kapseln also die Ressourcen und Sicherheitsmechanismen dieser Infrastruktur. Anwendungen bzw. Kommunikationspartner nutzen damit die Verwaltungsschale der Kommunikationsinfrastruktur, um administrativ deren Ressourcen und Funktionen mit einer definierten Dienstgüte anzufragen.

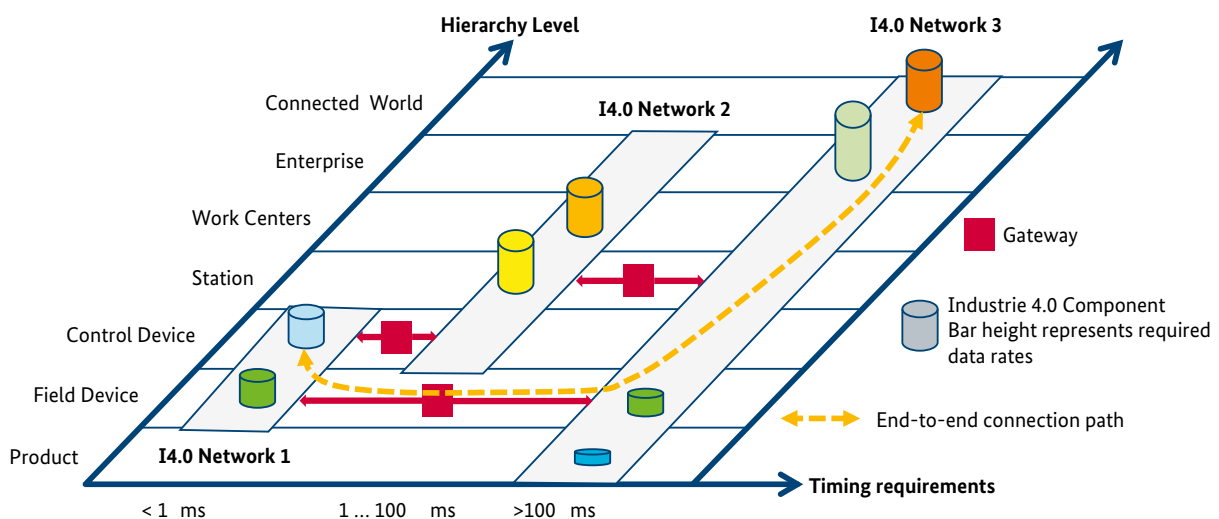
Modell für Netzkommunikation bei Industrie 4.0

Um für den Communication Layer relevante Anforderungen, Funktionen und Schnittstellen strukturiert beschreiben zu können, soll als Erweiterung und Ergänzung des RAMI 4.0-Modells ein Modell für die Netzkommunikation entworfen werden. Auf dem Weg dahin wird eine Ausgestaltung des „Communication Layer“ wie in Abbildung 2 skizziert vorgeschlagen.

Die eine Dimension beschreibt die sog. „Hierarchy Layer“ von RAMI 4.0. In der anderen Dimension sind die Anforderungen hinsichtlich Latenzzeiten aufgetragen. Innerhalb dieser beiden Dimensionen sind die verschiedenen für die Netzkommunikation verwendeten Kommunikationsnetze eingezeichnet, die sich dadurch unterscheiden, über welche der Hierarchie-Ebenen sie sich erstrecken bzw. welche Latenz-Anforderungen mit den Netzen realisiert werden können. Die in den Netzen eingezeichneten Zylinder symbolisieren beispielhaft Industrie 4.0-Komponenten, die über ein spezifisches Netz miteinander kommunizieren.

Ein wichtiger Punkt des Referenzmodells ist darin zu sehen, dass verschiedene Netze über Gateways miteinander verbunden sind. Ein solches Gateway kann z. B. der Übergang von einem lokalen Netzwerk innerhalb eines Unternehmens zu einem globalen Netz eines Netzanbieters sein. Industrie 4.0-konforme Ende-zu-Ende-Kommunikation findet dabei innerhalb der (über Gateways verbundenen) Industrie 4.0-Netze statt.

Abbildung 2: Ausgestaltung des „Communication Layer“ mit einem beispielhaften Ende-zu-Ende-Kommunikationspfad



3. Anforderungsanalyse

Um die Ziele der UAG zu erreichen, ist es notwendig, neben einer Bestandsanalyse sich auch mit einer Analyse der grundlegenden Anforderungen an zukünftige Netzkommunikationslösungen sowie mit relevanten laufenden Aktivitäten nationaler und internationaler Standardisierungs- sowie F&E-Aktivitäten zu beschäftigen.

Grundlegende Anforderungen

Im Rahmen der Plattform Industrie 4.0 wurden verschiedene Referenz-Szenarien definiert [5]. Die sich daraus ableitbaren Anforderungen für eine „anwendungsgerechte“ Netzkommunikation sind sehr unterschiedlich; grundsätzlich lassen sich die Anforderungen in drei Kategorien einteilen:

1. Sicherheit

Hierunter fallen die Bereiche a) Netzsicherheit und Datensicherheit, b) Sichere Identitäten und c) funktionale Sicherheit. Die Punkte a) und b) werden in der AG3 der Plattform Industrie 4.0 adressiert [6], [7]. Die UAG Netzkommunikation arbeitet bzgl. dieser Punkte mit der AG3 zusammen. Zum Thema „Security und funktionale Sicherheit“ arbeitet die AG3 mit dem DKE-TBINK AK IT Security und Security by Design zusammen.

Hinsichtlich funktionaler Sicherheit gibt es Anforderungen von Seiten IEC 61784-3. Diese müssen bei der Definition neuer Systeme berücksichtigt werden.

2. Verfügbarkeit

Verfügbarkeit bezeichnet die Eigenschaft von Verfahren und Daten, zeitgerecht zur Verfügung zu stehen und ordnungsgemäß angewendet werden zu können. Autorisierte Benutzer dürfen am Zugriff auf Informationen und Systeme nicht gehindert werden.

3. Dienstqualität (Quality of Service – QoS)

Anforderungen an die Dienstqualität für Industrie 4.0 lassen sich im Wesentlichen in drei Kategorien einteilen:

- Latenzanforderungen, einschl. Jitter
- Zuverlässigkeit der Datenübertragung, z. B. beschrieben durch maximale Bitfehler- oder Paketfehlerraten
- Anforderungen an die Datenraten

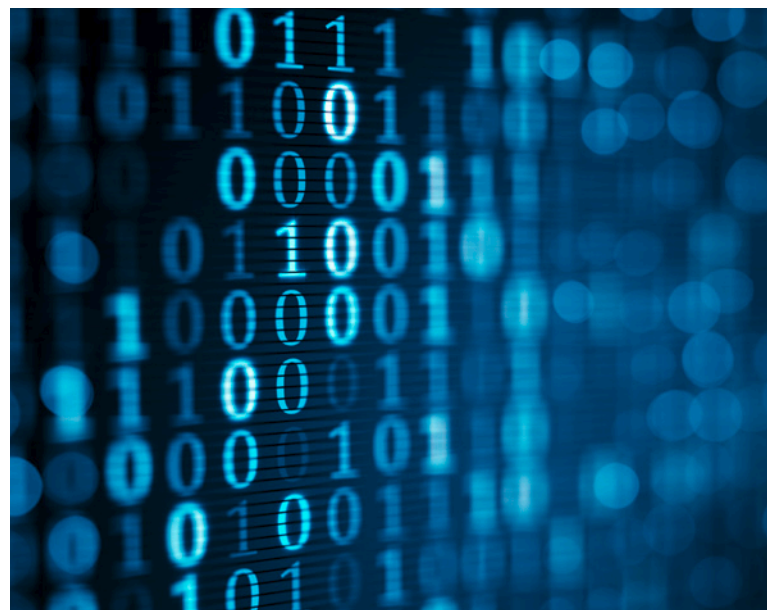
Für funkbasierte Kommunikationssysteme sind Fragen der Koexistenz bzgl. der Spektrumsnutzung von großer Bedeutung, um die oben genannten QoS-Parameter erfüllen zu können (siehe auch IEC 62657-2 und VDI/VDE Guideline 2185).

Die nachfolgende Tabelle zeigt für drei Beispielanforderungen, in welchen Bereichen sich die dementsprechenden QoS-Parameter quantitativ bewegen [8].

	Motion Control	Condition Monitoring	Augmented Reality
Latency/ Cycle Time	250 μ s – 1 ms	100 ms	10 ms
Reliability (PER ¹)	1e-8	1e-5	1e-5
Data Rate	kbit/s – Mbit/s	kbit/s	Mbit/s – Gbit/s

¹ (Residual) Packet Error Rate

Um die beschriebenen Anforderungen in Industrie 4.0-konforme Funktionen im Sinne des RAMI umzusetzen, müssen diese in einer Verwaltungsschale repräsentiert werden.





4. Bewertungen und erste Empfehlungen

Analyse von Fehlstellen

a) Bedarf nach drahtlosen Vernetzungslösungen

Die Forderung nach flexibler Produktion, bis hin zu einer „Losgröße Eins“, führt zwingend dazu, dass die Produktion mobiler wird und sowohl Werkzeuge flexibler als auch die Logistik dynamischer werden können. Leitungsgebundene Systeme stoßen dabei schnell an technische und wirtschaftliche Grenzen. Aufgrund der prognostizierten großen Anzahl zukünftiger Sensoren und Aktoren in der industriellen Fertigung geht kein Weg an einer effizienten drahtlosen Lösung vorbei. Bluetooth und Wireless LAN bieten zwar interessante Kostenstrukturen aufgrund der großen kommerziellen Nutzung, haben jedoch nur sehr beschränkte Mechanismen hinsichtlich Interferenzen, Sicherheit und Reaktionszeiten. Industriespezifische Lösungen sind auf wenige Frequenzbänder beschränkt und oft aufgrund geringer Stückzahlen nur begrenzt wirtschaftlich.

Vor diesem Hintergrund laufen derzeit Forschungsaktivitäten im BMBF-Programm „Zuverlässige drahtlose Kommunikation in der Industrie (ZDKI)“. Mittelfristig wird hier 5G (s. u.) eine wichtige Rolle spielen.

b) Flexible, sichere, qualitätsgesicherte Ende-zu-Ende-Verbindungen

Eine Kernanforderung für Industrie 4.0 ist eine möglichst flexible, sichere und qualitätsdifferenzierte Ende-zu-Ende-Kommunikation. Diese erfolgt häufig über verschiedene Netze und – im globalen Kontext – auch über verschiedene Netzbetreiber hinweg. Wichtig hierbei ist es, eine möglichst gute „Durchgängigkeit“ zu erreichen.

Auf dieser Basis werden M2M-Protokolle wie z. B. OPC UA (IEC 62541) im Zusammenspiel mit TSN (siehe unten) eingesetzt werden können.

Für diese Übergänge spielen Gateways eine wichtige Rolle. Ein Industrie 4.0-gereignetes Gateway zwischen einer Fabrik und einem Wide Area Network sollte z. B. folgende Eigenschaften besitzen:

- Konfigurierbare Möglichkeit zur anwendungsgerechten Einrichtung von Tunnel- und Security-Protokollen mit möglichst kurzen Verbindungsaufbau- und Verbindungsabbauzeiten
- Möglichkeit zum flexiblen Ausrollen von Monitoring- und Analyse-Funktionen
- Prioritäts-Management per Applikation
- Übersetzung der QoS-Parameter zwischen verschiedenen Netzbetreibern

Mittel- bis längerfristig wird hier, insbesondere im Zusammenhang mit 5G, die Nutzung von „Network Function Virtualization (NFV)“- und „Network Slicing“-Mechanismen dazu beitragen, dass die Flexibilität erhöht und inflexible Netzübergänge reduziert werden können.

c) Verwaltungsschale der Netzkommunikation

Damit Anwendungen die oben genannte Leistungsfähigkeit der Kommunikationsschicht sicher und flexibel nutzen können, müssen die Kommunikationsfunktionen diesen Anwendungen auf eine Industrie 4.0-konforme Art zur Verfügung gestellt werden. Dies geschieht, indem die Funktionen der Kommunikationsinfrastruktur in einer Industrie 4.0-Verwaltungsschale repräsentiert werden, so dass Anwendungen diese durch Industrie 4.0-konforme Kommunikation anfragen und wieder aufgeben können. Diese Verwaltungsschale muss damit zwei grundsätzliche Anwendungsfälle unterstützen:

- Die Anfrage bzw. Verhandlung von Ende-zu-Ende-Kommunikationspfaden zwischen Industrie 4.0-Komponenten mit definierter Dienstgüte und Sicherheitseigenschaften, idealerweise ohne Abhängigkeit zu den konkret verwendeten Kommunikationsprotokollen.
- Die Initialkonfiguration („Bootstrap“), mit dem neu hinzukommende Industrie 4.0-Komponenten erstmals Zugang zur Verwaltungsschale der Kommunikationsinfrastruktur erhalten, idealerweise mit minimalem Vorkonfigurationsaufwand.

d) Internationalisierung der Standardisierung

Bisher wurde in der Produktions- und Automatisierungstechnik eine Vielzahl verschiedener Standards verwendet, die oft nur einen nationalen oder regionalen Bezug hatten. Um im globalen Wettbewerb mit Industrie 4.0 erfolgreich zu sein, sind unbedingt internationale Standards notwendig. Außerdem erscheint eine Konsolidierung von Standards sinnvoll, um deren Anzahl zu reduzieren. Das Zielbild einer weltweit erfolgreich einsetzbaren Netzkommunikation kann daher nicht eine regional abgegrenzte europäische Lösung sein, sondern muss die Stärken der deutschen und europäischen Industrie, namentlich des Maschinen- und Anlagenbaus und der Automatisierungsindustrie, synergetisch mit den globalen Technologietrends in der Kommunikationstechnik und im Internet zusammenführen. Derzeit sind sehr viele internationale Normungsgremien und Konsortien damit befasst, in intensiver Zusammenarbeit durch entsprechende Liaisons eine integrale Normungs- und Standardisierungslandschaft im Kontext von Industrie 4.0 / „smart manufacturing“ zu schaffen.

5. Ausblick auf künftige Kommunikationsstandards

SDN und NFV

Auf den unteren technischen Schichten im OSI-Technologieschichtenmodell (OSI = Open System Interconnection) eröffnet Software Defined Networking (SDN) neue Möglichkeiten der flexiblen Produktion und Administration von Netzwerkdiensten. Dies wird durch das Konzept der Trennung von Control und Data Plane von Datennetzwerken und der Virtualisierung der unteren Funktionsebenen (Network Function Virtualization, NFV) erreicht. Hiermit mögliche, kostengünstig und ad hoc bereitstellbare hochsichere Verbindungen wie Virtual Private Networks (VPN) stellen einen wichtigen Funktionsbaustein des Industrial Internet dar. Ursprünglicher Haupttreiber dieser Entwicklung war der Skalierungsbedarf bei Infrastructure-as-a-Service (IaaS)-Angeboten im Rahmen des Cloud-Geschäfts. Diese Technologie, die auch ein Schlüsselbaustein für „5G“ sein wird, unterstützt künftig in der Industrie das sichere Verlagern von Prozess- und Steuerungselementen von lokalen Instanzen in die Cloud. Vernetzung von Abläufen über die gesamte Wertschöpfungskette wird damit um ein Vielfaches einfacher und mächtiger. Für SDN und NFV werden Open Source-basierte Lösungen eine immer größere Bedeutung bekommen. SDN und NFV ermöglichen sogenannte „Network Slices“ für unterschiedliche Anforderungen und Nutzerszenarien. Vereinfacht kann man sagen, dass damit industrielle Nutzer virtuell ein eigenes globales Netz inklusive Rechenzentren an den richtigen Orten bekommen.

5G

Die „Groupe Speciale Mobile (GSM)“ der „Europäischen Konferenz der Verwaltungen für Post- und Fernmeldewesen“ (CEPT) hat mit dem Standard zum digitalen Mobilfunk einen neuen Markt kreiert. So war 2G/GSM zwar optimal für digitale Sprache und internationales Roaming. Jedoch sind die nachträglich hinzugefügten Datendienste GPRS und EDGE nur suboptimal. 3G/UMTS kann zwar Sprache und Daten sehr effizient zur Verfügung stellen, jedoch erst HSPA brachte einen effizienten Internetzugang. Dem hingegen ist 4G/LTE für einen breitbandigen Zugang zum Internet optimiert. 5G ist ein zukünftiger globaler Telekommunikationsstandard, der eine Vielzahl verschiedener Anwendungsszenarien unterstützen soll. Die Standardisierung von 5G hat begonnen und insbesondere die Anwender von industriellen Lösungen sind aufgefordert, ihre Anforderungen an die Technologie einzubringen. Erste kommerzielle Netze werden für 2020 erwartet. Neben höheren Datenraten (bis zu 10 Gbps) und erweiterter Konnektivität (weltweit



100 Milliarden Endgeräte) soll 5G vor allem deterministisches Verhalten mitbringen (bei einer Latenz von etwa 1 ms). Deterministisches Verhalten ist überall dort notwendig, wo zeitkritische Prozesse und funktionale Sicherheit gefordert sind.

Ethernet wird diese Anforderung erst mit Time-Sensitive Networks (TSN, IEEE 802.1) erfüllen. Beim Mobilfunk kommt noch das Medium mit Interferenzen, Beugung und Reflexionen hinzu. 5G wird dahingehend standardisiert, um Anwendungsfällen mit unterschiedlichen QoS-Anforderungen gerecht zu werden.

Aus heutiger Sicht wird 5G folgende Eigenschaften haben:

- Economics of scale
- Deterministisches Verhalten
- Große Bandbreite von lizenzierten/unlizenzierten Frequenzbändern, Spektrum von 300 MHz bis 300 GHz (mm-Wave)
- Integration mit industriellem Ethernet
- Unterstützung von Cloud/Edge Computing und Big Data Analytics über das Core Network
- Technische Innovationen wie Software Defined Networks (SDN) und Network Function Virtualization (NFV) werden von Anfang an in der Konzipierung der Netze berücksichtigt
- Virtualisierung ermöglicht hohe Flexibilität und neue Angebote

Referenzen

- 1 – List of agreed terms: <http://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/48960/>, <http://i40.iosb.fraunhofer.de/FA7.21%20Begriffe>
- 2 – Wiki with terms and definitions: <http://i40.iosb.fraunhofer.de/FA7.21%20Begriffe%20-%20Industrie%204.0>
- 3 – DIN SPEC 91345:2016-04, „Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)“, Beuth Verlag GmbH
- 4 – Plattform Industrie 4.0, Struktur der Verwaltungsschale: Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0-Komponente
- 5 – Plattform Industrie 4.0, Abbildung der Anwendungsszenarien auf die Forschungsroadmap
- 6 – Plattform Industrie 4.0, Technischer Überblick: Sichere Identitäten
- 7 – Plattform Industrie 4.0, Technischer Überblick: Sichere unternehmensübergreifende Kommunikation
- 8 – Dr. Andreas Müller, Robert Bosch GmbH 2015, Beitrag zur Diskussionssitzung „Funkkommunikation für Industrie 4.0“ am 28.05.2015 des ITG-Fachausschusses 7.2 Funkssysteme

AUTOREN DER UNTERARBEITSGRUPPE (UAG) NETZKOMMUNIKATION DER AG 1:

Ulrich Graf, Huawei Technologies Düsseldorf GmbH | Roland Heidel, Roland Heidel Kommunikationslösungen e.K. | Dr. Gerhard Kadel, Telekom Innovation Laboratories | Bernd Kärcher, Festo AG & Co. KG | Frank Mildner, Telekom Innovation Laboratories | Dr. Dirk Schulz, ABB AG Forschungszentrum | Detlef Tenhagen, HARTING Electric GmbH & Co. KG

