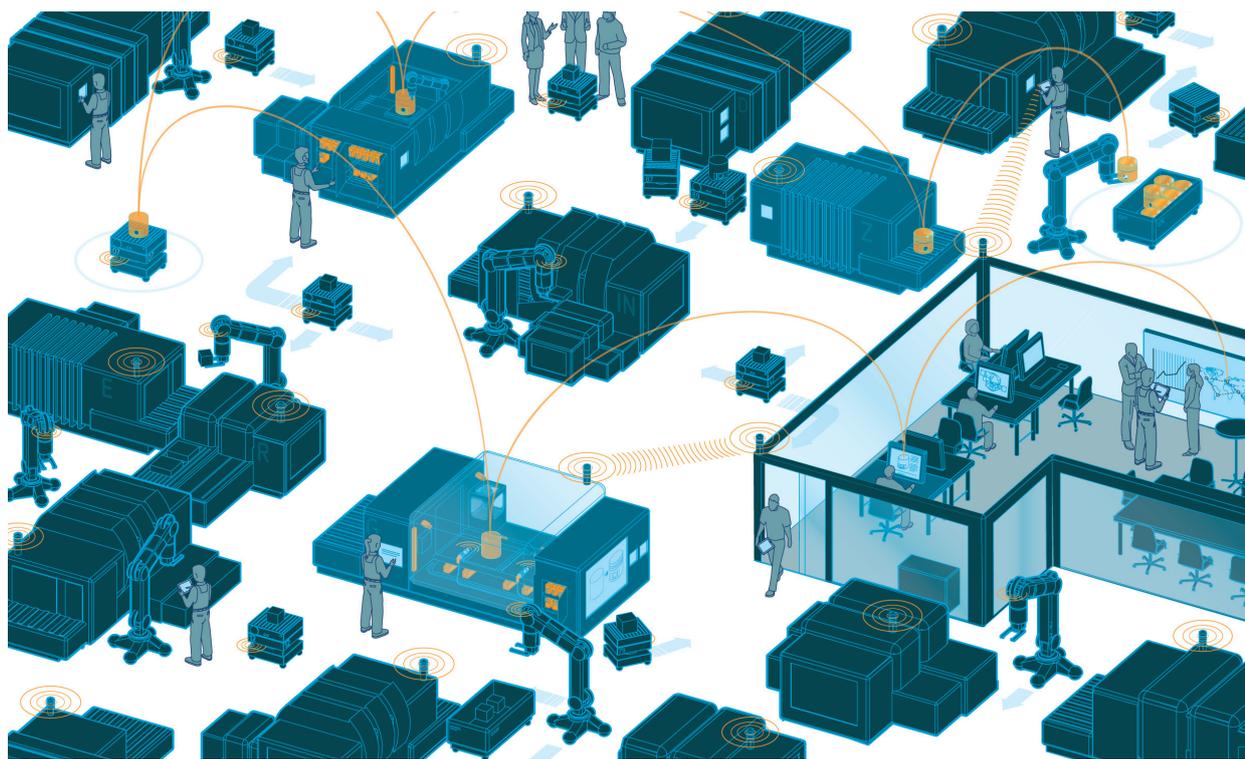


# Kommunikation im Industrie-4.0-Umfeld

Welchen Herausforderungen hat sich die industrielle Kommunikation im Kontext von Digitalisierung und Industrie 4.0 zu stellen?



Whitepaper – Teil 4



## Kommunikation im Industrie-4.0-Umfeld

Herausgeber:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-  
und Elektronikindustrie e.V.

Fachverband Automation

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6302-440

Fax: +49 69 6302-386

E-Mail: [automation@zvei.org](mailto:automation@zvei.org)

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

Verantwortlich:

Meik Billmann

Erstellt durch den Arbeitskreis Systemaspekte

April 2018



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung, Nicht-kommerziell, Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz. Trotz größter Sorgfalt übernimmt der ZVEI für Vollständigkeit und Richtigkeit der Inhalte keine Gewähr.

### Dieses Whitepaper ist Teil einer Serie:

Teil 1 – Industrie-Software 4.0?

Teil 2 – Elektrische Verbindungstechnik für Industrie 4.0?

Teil 3 – Consumer-Geräte im Industrie-4.0-Umfeld

Teil 4 – Kommunikation im Industrie-4.0-Umfeld

... weitere Teile folgen.

# Ein Whitepaper des Arbeitskreises Systemaspekte im Fachverband Automation

Der Fachverband Automation bearbeitet innerhalb des Zentralverbands Elektrotechnik und Elektronikindustrie (ZVEI) Themen und Herausforderungen aus Sicht von Herstellern und Nutzern automatisierungstechnischer Einrichtungen. Die zurzeit wohl mit Abstand am häufigsten diskutierten Themen in diesem Kontext sind Industrie 4.0 und die damit in Verbindung gebrachten Potenziale, Architekturen, Standards und Technologien.

Der Arbeitskreis Systemaspekte ist sich der großen Tragweite des Themenkomplexes bewusst und hat sich zum Ziel gesetzt, mögliche konkrete Einflüsse auf Basistechnologien in unserer Domäne zu untersuchen und aufzuzeigen.

Dies geschieht im Rahmen einer Reihe von Whitepapers, in der das vorliegende zum Thema Kommunikation den vierten Teil darstellt. Weil die grundlegenden Arbeiten an Industrie-4.0-Themen sich noch an ihrem Anfang befinden, verstehen die Arbeitskreismitglieder die Whitepapers nicht als zusätzliche Lösungsvorschläge, sondern als (teilweise) kritische Auseinandersetzung mit den zu erwartenden Umsetzungs- und Anwendungsszenarien.

Frankfurt am Main, April 2018

Günter Feldmeier  
Vorsitzender Arbeitskreis Systemaspekte

## Die Autoren aus dem Arbeitskreis Systemaspekte

- Prof. Martin Wollschlaeger TU Dresden  
martin.wollschlaeger@tu-dresden.de
- Thomas Debes CodeWrights  
Thomas.Debes@codewrights.de
- Johannes Kalhoff Phoenix Contact  
jkalhoff@phoenixcontact.com
- Jens Wickinger Schneider Electric  
jens.wickinger@schneider-electric.com
- Holger Dietz Janitza  
holger.dietz@janitza.de
- Günter Feldmeier TE Connectivity  
GFeldmei@te.com
- Dr. Jan Michels Weidmüller  
janstefan.michels@weidmueller.de
- Heinz Scholing Emerson  
heinz.scholing@emerson.com
- Meik Billmann ZVEI  
billmann@zvei.org

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	5
<b>2</b>	<b>Situationsbeschreibung</b>	6
<b>3</b>	<b>Anforderungen an industrielle Kommunikation</b>	10
<b>4</b>	<b>Kommunikation in Industrie 4.0</b>	16
<b>5</b>	<b>Technische Herausforderungen</b>	19
<b>6</b>	<b>Kommerzielle Aspekte</b>	23
<b>7</b>	<b>Zukunftsprognose</b>	24
<b>8</b>	<b>Fazit</b>	26

# 1 Einleitung

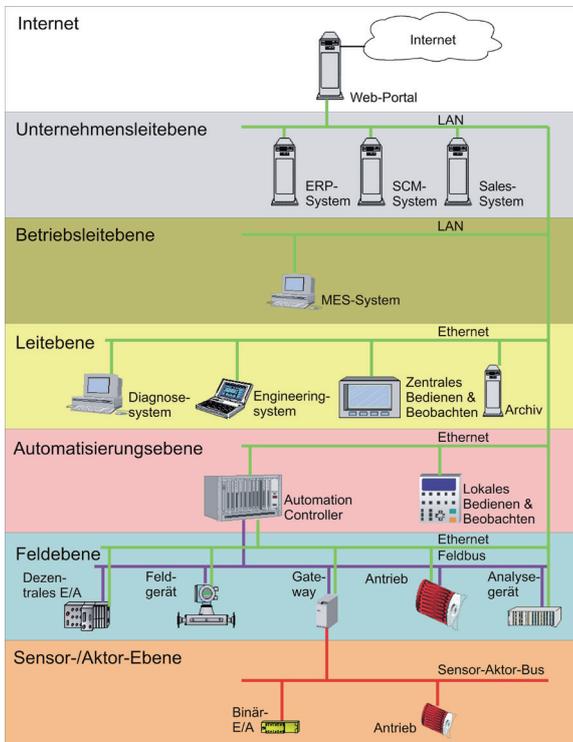
Industrie 4.0 ist ohne Vernetzung und Kommunikation nicht denkbar. Die Elemente der verschiedenen Wertschöpfungsketten tauschen zu unterschiedlichen Zwecken verschiedenartige Daten aus, um ihre jeweiligen Aufgaben erfüllen zu können. Den überwiegenden Anteil stellen dabei die klassischen Prozessdaten dar, die zur Erfüllung der Produktivfunktion (z. B. Messen, Stellen) erforderlich sind. Die Sollwertvorgaben, die die Rahmenbedingungen für die Ausführung der Produktivfunktionen festlegen, werden den Komponenten von Managementfunktionen (z. B. Parametrierung, Diagnose) zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus werden produkt- und funktionsbezogene Daten (Betriebsdaten) in den Komponenten erzeugt, die Aussagen über den Verlauf des Prozesses und den Zustand dieser Komponenten erlauben. Künftig werden unter anderem die Rolle der Datenanalyse (Big-Data-Analysis) und die Enterprise-Kommunikation (Konvergenz von Information- und Operation-Technology – IT/OT) zunehmen. All dies erfolgt unter der Prämisse, dass sich die heute eher festen, geplanten Systemstrukturen der klassischen Automatisierungspyramide auflösen und künftig bedarfsorientiert und in flexiblen, sich über die Lebenszeit dynamisch ändernden Strukturen kommuniziert wird.

In der Produktion werden bereits seit längerem spezifische, für den Einsatzzweck optimierte Kommunikationstechnologien eingesetzt. Hierzu gehören insbesondere die Echtzeitkommunikationsnetze auf Basis von Feldbussen, Industrial Ethernet und Industrial Wireless. Zusätzlich werden – besonders für weniger zeitkritische Übertragungen oder für Zusatzfunktionen – zunehmend die Standard-IT-Netze und -Protokolle adaptiert. Ein typisches Beispiel hierfür ist die enorme Verbreitung von webbasierten Lösungen in der Automation, zum Beispiel zur Konfiguration von Geräten über Webbrowser.

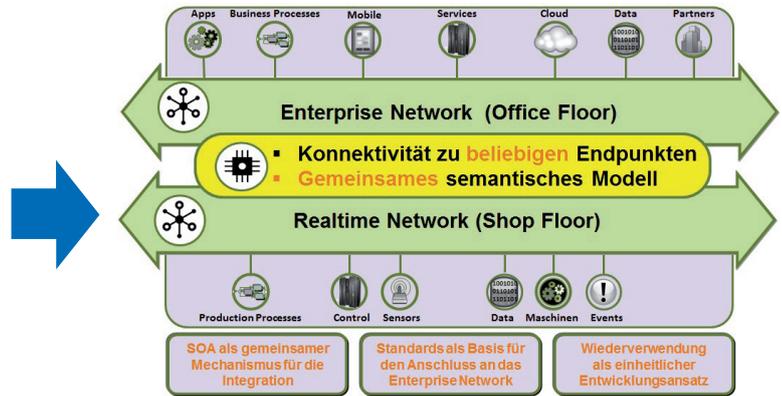
Die technologische Entwicklung der Kommunikationssysteme wird zudem durch die zunehmende Verknüpfung von klassischen IT-Strukturen und Telekommunikation, insbesondere Mobilkommunikation, und die Evolution des Internet of Things (IoT) beeinflusst. Neue, kostengünstige Hardwarekomponenten und flexible, konfigurierbare Software-Stacks für Kommunikationsprotokolle versprechen einerseits eine anforderungsgerechte Kommunikation mit hohen Bandbreiten und schnellen Reaktionszeiten und andererseits die Vernetzung einer großen Zahl an weit verteilten Komponenten mit geringen zeitlichen Anforderungen.

Die beschriebene Situation führt zu einer Zunahme an Komplexität und Heterogenität der Vernetzung. Um die Aufrechterhaltung der Netzwerkeigenschaften gewährleisten zu können, ist ein Netzwerkmanagement erforderlich, das gegenüber der heutigen Situation wesentlich leistungsfähiger und flexibler sein muss. Auf der anderen Seite erfordert die Heterogenität eine Entkopplung der konkreten Kommunikationsstruktur von den Applikationen. Dies wird durch die Einführung von dienstbasierten Konzepten – entsprechend einer serviceorientierten Architektur (SOA) – erreicht, die eine Abstraktion aus Anwendersicht erlauben und die konkreten Details der Kommunikation kapseln.

Bild 1: Von der Automatisierungspyramide zu Industrie 4.0



Quelle: Prof. Martin Wollschlaeger, TU Dresden



Quelle: ZVEI-Führungskreis Industrie 4.0

Angesichts der skizzierten Situation sieht sich die industrielle Kommunikation im Umfeld von Industrie 4.0 und weiteren Entwicklungen wie zum Beispiel 5G-Kommunikation neuen Herausforderungen gegenüber. Hersteller, Systemintegratoren und Anwender von Automatisierungslösungen stehen dabei zunehmend vor neuen Fragestellungen: „Wie wirken sich die genannten Themen auf die Realisierung der Kommunikation in Industrie 4.0 aus?“ „Welche Anforderungen lassen sich ableiten?“ „Welche

Paradigmen, Technologien und Lösungen sind künftig relevant?“ Aus diesem Grund geben wir das vorliegende Whitepaper „Kommunikation im Industrie-4.0-Umfeld“ heraus. Dabei sollen, ausgehend von verschiedenen Szenarien, Anforderungen an die Kommunikation im Umfeld von Industrie 4.0 diskutiert werden. Eine adäquate Berücksichtigung der Anforderungen an die Informationssicherheit wird hierbei als selbstverständlich angesehen.

## 2 Situationsbeschreibung

Die industrielle Automation befindet sich im Spannungsfeld zwischen dynamischen Technologieentwicklungen und gesellschaftlichen und ökonomischen Herausforderungen. Die Adaption von Konzepten und Lösungen aus der Informationstechnik wirken ebenso auf Funktionalität und Struktur der Automatisierungslösungen und ihrer Komponenten wie die Veränderungen und

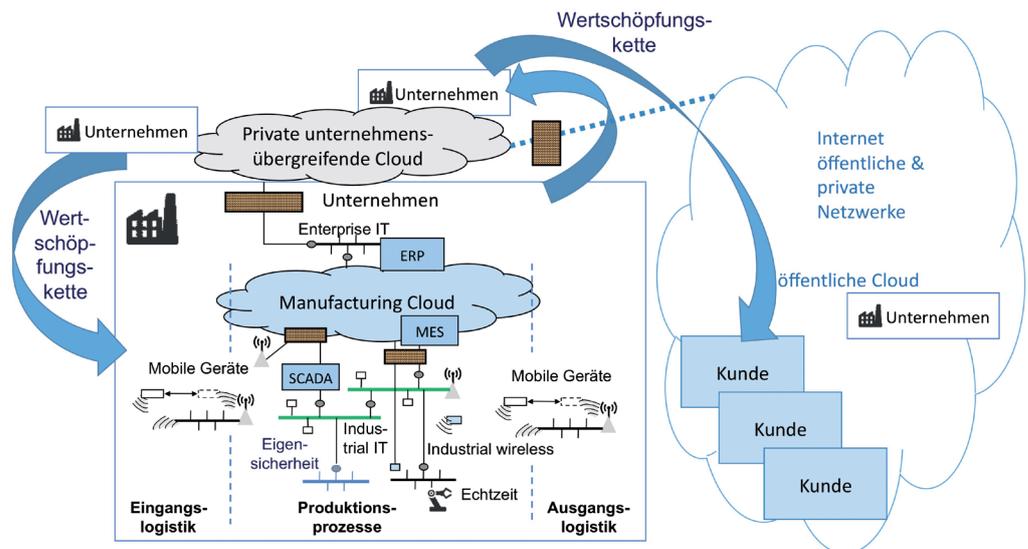
die Flexibilisierung in den Geschäftsprozessen. Ursprünglich aus der IT-Welt stammende Themen wie Cloud- und Fog-Computing, Industrial Internet of Things (IIoT), Big Data und Data-Analytics, Middleware, Virtualisierung oder drahtlose Kommunikation haben längst einen Platz in der Automatisierungswelt gefunden und werden ihn weiter ausbauen. Sie sind auch aus

Geschäftsicht essenziell, erlauben sie doch erst die Einführung von neuen Paradigmen und die Dynamisierung der Interaktion zwischen den Partnern der Wertschöpfungsketten. Damit einher gehen auch substantielle Veränderungen im Markt, von Geschäftsmodellen und von Partnerstrukturen.

Das Themenfeld der digitalen Transformation wird daher für die industrielle Automation eine Chance, aber auch eine Herausforderung darstellen, die einerseits in neue Funktionalitäten und Systemkonzepte mündet, andererseits die Migration von bestehenden Lösungen sicherstellen muss. Trotz des großen Potenzials disruptiver Innovationen ist es ökonomisch weder sinnvoll noch möglich, neue technische Entwicklungen einzuführen, ohne die konkreten Anforderungen der Domäne Automation zu beachten sowie bestehende Modelle, Systemkonzepte und Lösungen einzubeziehen. Andererseits ist das Potenzial der genannten Technologien ohne Zweifel enorm hoch, und es ist daher notwendig, geeignete Konzepte und Lösungen zu erarbeiten, die dieses Potenzial heben und es für die Beteiligten der Wertschöpfungskette zugänglich machen.

Angesichts des beschriebenen Spannungsfelds kommt der Kommunikation zwischen den verschiedenen Systemen und Komponenten eine noch stärkere Bedeutung zu [1]. Die zu erwartende Flexibilisierung ist ohne vielfältige Kommunikationslösungen nicht realisierbar. Dabei verschmilzt die klassische Aufteilung der Kommunikationslösungen mit der prozessnahen Echtzeitkommunikation (Shop Floor) und der Enterprise-Kommunikation (Office Floor) [2]. Gerade durch die Einführung von Webtechnologien und Industrial IoT entstanden zusätzliche Kommunikationspfade (z. B. über IP-basierte Protokolle) zum Datenaustausch mit den Komponenten im Shop Floor, etwa für den Zugriff auf Verwaltungs- und Betriebsdaten dieser Komponenten. Damit lassen sich insbesondere datengetriebene Funktionen wie beispielsweise Condition-Monitoring, Predictive Maintenance etc. leichter realisieren als bei Nutzung der klassischen Vernetzungshierarchie. Andererseits kann durch diese zusätzlichen Kommunikationskanäle eine erhebliche Heterogenität entstehen, die zu zusätzlichem Aufwand in Bezug auf Engineering, Management und Security führt.

**Bild 2 : Aspekte der Kommunikation in industriellen Wertschöpfungsprozessen (nach [1])**



Quelle: Prof. Martin Wollschlaeger, TU Dresden

Die Hauptaufgabe der industriellen Kommunikation ist weiterhin die produktionsbezogene Produktivdatenkommunikation (in Bild 2 Produktionsprozesse). Hier werden typischerweise verschiedene für den konkreten Einsatzzweck optimierte Kommunikationslösungen genutzt. Neben der Forderung nach Echtzeitkommunikation finden sich häufig Anforderungen in Bezug auf die Dynamik der Prozesse und auf Isochronität (u. a. in Motion-Control), aber auch hinsichtlich Explosionsschutz und Eigensicherheit (Intrinsic Safety), Redundanz und Verfügbarkeit. Dies hat zur Entwicklung von spezifischen Kommunikationssystemen geführt, wie Feld- und Sensor-Aktor-Bussen, Industrial Ethernet und Industrial Wireless. Die Systeme sind gekennzeichnet durch häufige Aktualisierung und kurze Lebensdauer der übertragenen Daten sowie durch kleine Datenstrukturen. Vielfach werden zwei Paradigmen für die Kommunikation verwendet: zyklische Kommunikation für Produktiv- bzw. Prozessdaten und azyklische, bedarfsgesteuerte Kommunikation für Parametrierung, Diagnosen und Alarmer.

Diese Kommunikationssysteme werden vertikal entlang der funktionalen Hierarchie integriert, sodass ein Datenaustausch mit speicherprogrammierbaren Steuerungen und Automation-Controllern, mit Lösungen für Supervisory-Control und Data-Acquisition (SCADA) oder komplexen Leitsystemen, mit Manufacturing-Execution-Systems (MES) sowie Enterprise-Resource-Planning (ERP) ermöglicht wird. Die Integration der Komponenten erfolgt horizontal (innerhalb einer funktionalen Ebene) und vertikal (von Sensor über Leitebene und MES bis ins ERP). Insbesondere für MES und ERP werden zunehmend cloudbasierte Systeme zum Einsatz kommen, auch wenn diese „Manufacturing-Cloud“ häufig eine unternehmenseigene Cloud (on premise) sein wird.

Die horizontale Integration schließt die Beteiligten der Wertschöpfungskette mit ein. Sie beginnt durch die Integration von Logistikprozessen: sowohl von Produktionslogistik innerhalb der Produktion als auch von Prozessen der Lieferung von Ausgangsmaterialien (im Bild Eingangslogistik) sowie der Produktauslieferung (Ausgangslogistik). Die digitale Bereitstellung der Logistikinformationen erfolgt häufig über mobile

Geräte, die zumeist direkt in das Lager- und Bestandsmanagement im MES eingebunden sind. Darüber hinaus erfolgt natürlich eine unternehmensübergreifende Kommunikation zwischen den beteiligten Partnern, zunehmend realisiert über eine private, unternehmensübergreifende Cloud („Inter-Enterprise-Cloud“).

Die dritte Integrationsdimension schließlich deckt die zeitliche Relation ab. Sie beinhaltet die Kommunikation zwischen den verschiedenen Systemen entlang der Phasen des Life-Cycle eines Produktionssystems. Themen wie Bereitstellung von Planungsdaten zur Laufzeit, von Spezifikationsdaten für eine prozessbegleitende Simulation und Optimierung oder für Predictive Maintenance sind hier ebenso relevant wie die Kommunikation mit Endkunden über die Lebenszeit des Produkts hinweg mit dem Ziel, Serviceleistungen anzubieten und Informationen zur Produktverbesserung zu sammeln (Product-Life-Cycle-Management).

Die erwähnte Technologieverfügbarkeit erlaubt unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ die durchgängige Digitalisierung und Vernetzung und ermöglicht damit die beschriebenen Themen, die sich auch in den von der Plattform Industrie 4.0 veröffentlichten Use-Cases widerspiegeln.

Die durchgehende Digitalisierung bei Industrie 4.0 soll auch den Anforderungen von Anwendern besser entsprechen. In Bezug auf die industrielle Kommunikation stehen dabei insbesondere folgende Themen im Vordergrund:

#### **Modernisierung von vorhandenen Automatisierungslösungen, Migrierbarkeit bereits existierender Lösungen (Installed Base)**

Industrie-4.0-Kommunikation bietet dann einen Kundenmehrwert, wenn durch entsprechende Dienste bereits vorhandene Infrastrukturen weiterverwendet werden können. Dabei muss ein „Andocken“ auf den verschiedenen Ebenen der klassischen Automatisierungspyramide möglich sein. Typischerweise nehmen die Kosten für den Austausch zu, je näher man sich der Basis der Pyramide nähert. Gerade im E-/A-Bereich sind oft hohe Stückzahlen vorhanden, die auch noch mit einem nicht zu unterschätz-

zenden Verkabelungsaufwand einhergehen. Bei der Modernisierung von Automationskomponenten wird daher häufig auf bestehende Kommunikationsinfrastruktur zurückgegriffen. Neue Kabel zu ziehen ist aufwendig und fehleranfällig. Ebenso ist ein kompletter Austausch von Feldbus-Komponenten (z. B. vom Wechsel eines klassischen Feldbusses auf eine Ethernet-Architektur) mit erheblichen finanziellen Aufwänden verbunden. Eine bestehende Kommunikationsinfrastruktur soll sich daher möglichst einfach integrieren lassen, wird über einen gewissen Zeitraum mit modernen Architekturen koexistieren und dann bei Bedarf ersetzt werden. Durch entsprechende Gateways oder Proxies können diese Komponenten mit einem guten Kosten-Nutzen-Verhältnis weiterverwendet werden. In Verbindung mit weiteren Softwarefunktionen können somit bestehende Anlagen oder Teile davon Industrie-4.0-tauglich gemacht werden.

#### **Mehr Anwendernutzen durch Komponenten mit erweiterter Kommunikationsfähigkeit**

Grundsätzlich lassen sich durch Komponenten, die neben der Produktivdatenkommunikation auch andere, flexibel nutzbare Kommunikationskanäle besitzen, leichter Daten mit anderen Komponenten austauschen. Dies erlaubt die Einführung von datengetriebenen Applikationen auf vielfältigen Ebenen, da die Komponenten die erforderlichen Daten wesentlich leichter verfügbar machen können.

#### **Vereinfachung der Projektierung und Konfiguration der Kommunikation**

Heute müssen Kommunikationsteilnehmer noch aktiv in bestehende Systeme eingebunden werden. Dies betrifft sowohl die Netzwerkkonfiguration (Adresse, Netzmaske etc.) als auch die bereitgestellten Daten. Neue Kommunikationsteilnehmer müssen sich künftig möglichst einfach in bestehende Architekturen einbeziehen lassen. Die Integration in ein Netzwerk wird künftig automatisch erfolgen, der Anwender bestätigt vielleicht nur noch die Interaktion der Komponenten. Zusätzlich kann ein neues System im Kommunikationsverbund seine Funktionen und seine Daten bekannt machen und andere Geräte können auf die Information zur Laufzeit zugreifen, wie zum Beispiel auf Maintenance-Daten. Stehen

diese Daten heute in Geräten zur Verfügung, müssen sie durch Projektierung beispielsweise in einer Prozesssteuerung verfügbar gemacht werden. Künftig könnte die Prozesssteuerung die Informationen direkt beim Gerät abonnieren (Global Data, Publisher-/Subscriber-Modelle). Damit lassen sich Plug&Work-Szenarien auf Netzwerkebene genauso realisieren wie auf Anwendungsebene.

#### **Kommunikation im Kontext des Life-Cycle / der Lebenszeit**

Dieser Aspekt adressiert die Möglichkeit von Produkten, Informationen über ihre Nutzung und ihre Einsatzumgebung zu gewinnen und nicht nur zum Anwender, sondern auch zum Produkthersteller kommunizieren zu können. Dies erstreckt sich über alle Phasen des Product-Life-Cycle sowie alle Phasen der Lebenszeit einer Instanz dieses Produkts. Für die Hersteller bilden diese Informationen eine wesentliche Voraussetzung für die kontinuierliche Verbesserung und Weiterentwicklung des Produkts, um damit eine bessere Funktionalität, höhere Wertigkeit und letztlich eine bessere Kundenzufriedenheit zu erzielen. Für die Anwender erlaubt die Kommunikation über die Lebenszeit insbesondere die Verbesserung der internen Prozesse in Engineering und Betrieb, zum Beispiel Unterstützung von Predictive Maintenance. Zudem werden Nutzungsinformationen auch für Optimierungen benötigt, um damit die Prozesse und die Ressourcen den vielfältigen Kriterien entsprechend anpassen zu können.

#### **Verbesserte Nutzungseigenschaften durch neue Technologien**

Die Einführung von neuen, verbesserten Kommunikationslösungen soll die durch lange Nutzzeit entstehende technologische Alterung der Komponenten dämpfen oder verhindern. So sind beispielsweise im Kontext von Security aufgrund der oft langen Nutzzeiten von Anlagen und den darin verbauten Geräten heute noch häufig Kommunikationsprotokolle und -geräte im Einsatz, bei denen Security-by-Design nicht umgesetzt wurde. Durch Integration von Industrie-4.0-tauglichen Kommunikationskomponenten/-diensten kann dies verbessert werden, indem diese als Proxies den Zugriff auf die Altgeräte kontrollieren. Gleichzeitig muss aber sichergestellt sein,

dass die ursprüngliche physische Abschottung durch die neuen Kommunikationswege nicht als Einfallstor für Cyberangriffe auf die Anlagen verwendet wird.

#### Verbesserte Maintenance der Komponenten

Die Steigerung der Verarbeitungsleistungen in den Komponenten erlaubt bessere Möglichkeiten zur Selbstüberwachung und Optimierung. Zusätzliche Komponenten, die zum Beispiel direkt über IoT-Kommunikation integriert werden, unterstützen diesen Trend. Damit ergeben sich flexiblere Systemlösungen, beispielsweise für Maintenance-Aufgaben. Dies hat jedoch Auswirkungen auf die Kommunikation, da

neue Applikationsbeziehungen entstehen und entsprechende Kommunikationsbeziehungen aufgebaut werden müssen.

#### Verbesserte Interoperabilität

Durchgängige Lösungen bieten für Anlagenbetreiber insbesondere dann Mehrwert, wenn sich diese auch in heterogenen Gerätelandschaften umsetzen lassen. Kommunikationsdienste müssen idealerweise für Geräte unterschiedlicher Hersteller gleichzeitig funktionieren. Durch die Orientierung auf Dienste und die damit einhergehende Abstraktion der Schnittstellen wird diese Interoperabilität verbessert und Integrationsaufwände und -kosten werden reduziert.

## 3 Anforderungen an industrielle Kommunikation

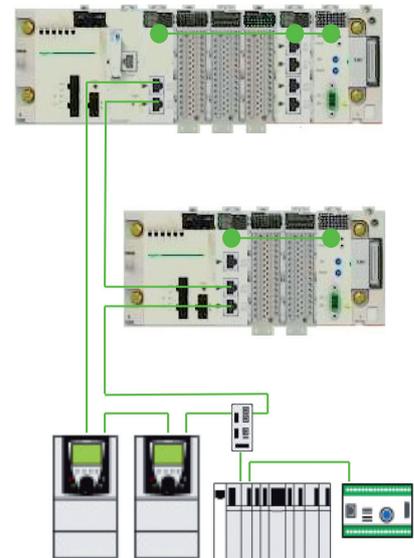
Kommunikation dient der Erfüllung von Anwendungsfunktionen in einem vernetzten System. Die Anforderungen an Kommunikationslösungen und die Auswahl geeigneter Technologien sind ebenso von den konkreten Anwendungsaspekten geprägt. Für eine tiefergehende Analyse der Anforderungen und die Auswahl von Realisierungsmöglichkeiten ist es erforderlich, die unterschiedlichen Aspekte der Kommunikation näher zu beschreiben. Nachfolgend soll das am Beispiel eines Frequenzumrichters erfolgen.

Moderne Frequenzumrichter werden heute mit Ethernet-Schnittstellen ausgeliefert. Die Konfiguration des Geräts erfolgt zum Beispiel mithilfe integrierter Webserver und macht spezielle Software-Werkzeuge und Software-Treiber auf PCs sowie spezielle Kabel überflüssig. Mithilfe eines Autodiscovery-Diensts und der Identifikation über die MAC-Adresse des Umrichters kann eine Verbindung aufgebaut werden, ohne dass ein DHCP-Server aktiviert oder eine spezielle IP-Adresse vorgegeben werden muss. Ebenso werden spezielle belegte Ethernet-Patchkabel nicht benötigt.

Neben den Aufgaben eines Frequenzumrichters, Antriebe mithilfe von Sollvorgaben in Realzeit zu steuern, können die Geräte auch eine Vielzahl anderer Funktionen ausführen, wie zum Beispiel Energiewerte messen und speichern. Die Werte können für

Auswertungen vom Gerät abgefragt werden. Dies ist ein Anwendungsfall für Big Data und Data-Analytics.

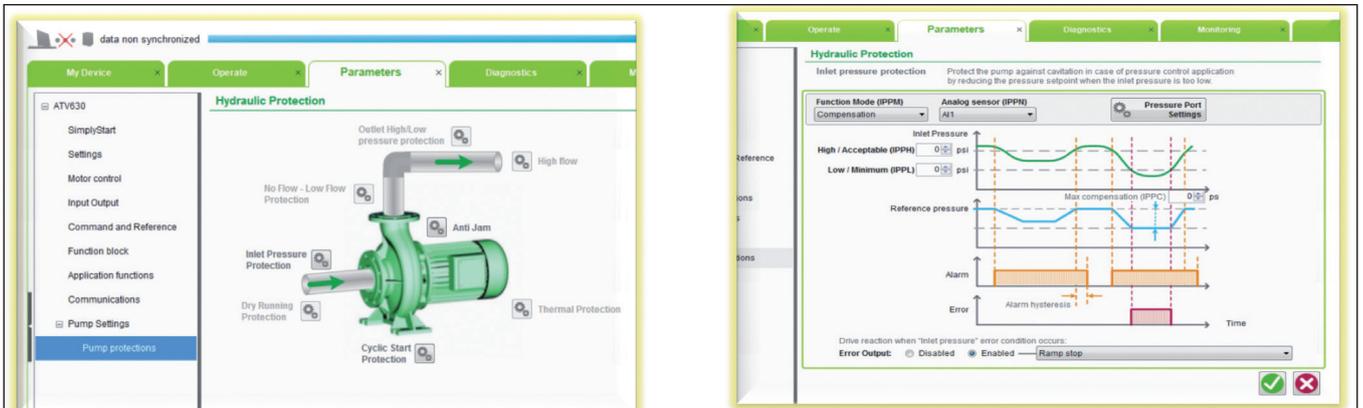
#### Bild 3: Integration von Antriebstechnik in die Automatisierungstechnik (Beispiel)



Quelle: Schneider Electric

In Bild 3 ist die Antriebstechnik ebenso wie ein dezentrales Rack des Automatisierungssystems in einen Ethernet-Ring integriert. Die Ringstruktur realisiert eine Redundanz; wird sie an einer Stelle unterbrochen, kann die Kommunikation über den anderen Weg erfolgen.

**Bild 4: Beispiele für Dialoge zur Konfiguration und Überwachung eines Frequenzumrichters**



Quelle: Schneider Electric

Die Konfiguration und Parametrierung der Antriebsfunktionen und damit die Verknüpfung mit der Automatisierungstechnik kann mithilfe von Engineeringwerkzeugen erfolgen. Diese können neben den Daten auch spezifische Dialoge enthalten (Bild 4).

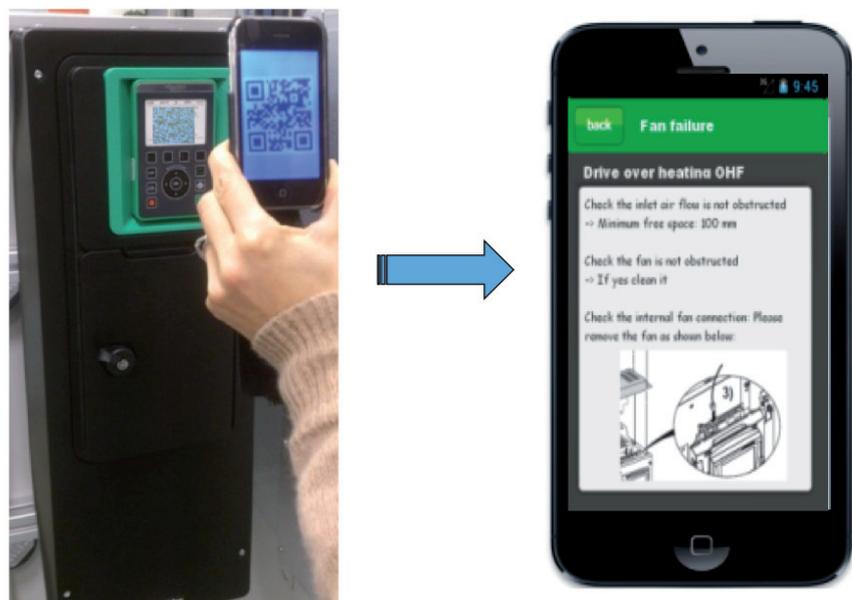
Im Falle eines Fehlers können die Frequenzumrichter durch das „Faulty-Device-Replacement (FDR)“ einfach ausgetauscht werden, ohne dass eine Vorabkonfiguration des Geräts, etwa mit einer IP-Adresse, notwendig ist.

Erkennt der Frequenzumrichter durch interne Überwachung einen Fehler, so generiert er dynamisch einen QR-Code, den

er auf seinem Display anzeigt. Zusätzlich schaltet er das Display rot, sodass er in einer Anlage leicht gefunden werden kann.

Dieser QR-Code erlaubt es dem Wartungspersonal, mithilfe eines Smart Device über eine Wartungsseite des Herstellers nicht nur Informationen zum Fehler des Geräts, sondern auch Anweisungen zum Beheben des Fehlers und zur Wiederinbetriebnahme des Geräts (Bild 5) abzurufen. Diese Funktion erspart das Mitnehmen von Handbüchern in elektronischer Form oder Papier und ist stets auf dem neuesten Stand. Darüber hinaus werden die Informationen in der Landessprache des „Smart Device“ angezeigt.

**Bild 5: Nutzung eines dynamisch generierten QR-Codes zur Übermittlung von Fehlerinformationen**



Quelle: Schneider Electric

Durch eine weitergehende Betrachtung und Verallgemeinerung lassen sich sehr unterschiedliche Szenarien finden, von denen drei typische Kandidaten für ein Industrie-4.0-Umfeld näher betrachtet werden sollen.

### **Szenario 1: „Echtzeitdatenkommunikation in flexiblen Produktionssystemen“**

Dieses Szenario stellt die Produktivdatenkommunikation in den Vordergrund. Hauptzweck der Kommunikation ist die adäquate Bereitstellung von Daten für die Umsetzung der vernetzten Funktionen in einem Produktionssystem. Im Beispiel bezieht sich dies auf die Kommunikation der Sollwerte und der Istwerte des Frequenzumrichters. Diese Funktionen wie zum Beispiel Messen, Regeln, Stellen fordern konkrete Eigenschaften von der Kommunikation. Allgemein wird in diesem Zusammenhang von Anforderungen an Quality of Service (QoS) gesprochen.

Eine wesentliche QoS-Anforderung in diesem Szenario ist die Garantie von Echtzeit, bedingt vom dynamischen Verhalten der Anwendung. Dies schließt neben der Rechtzeitigkeit häufig auch die Gleichzeitigkeit ein, fordert also neben einer ausreichenden Bandbreite bzw. einer geringen Übertragungszeit auch eine möglichst geringe Streuung (Jitter) der Ankunftszeitpunkte der Telegramme. Die typischen Datenstrukturen sind eher klein (wenige Byte pro Mess- oder Stellwert). Häufig werden solche Daten zyklisch übertragen, mitunter auch ereignisorientiert.

Eine weitere wesentliche Anforderung ist die Reaktionszeit auf asynchrone Ereignisse wie Prozess- oder Systemalarme. Sie besitzen für das Führen der Anwendungsprozesse erhebliche Relevanz und müssen mit hoher Priorität und Verlässlichkeit kommuniziert werden. Hinzu kommen Ereignisse, die in den Infrastrukturkomponenten der Netzwerke generiert werden und die für die Nutzbarkeit des Kommunikationsnetzes relevant sind. Neben der korrekten Reihenfolge der Ereignisse, die zum Beispiel durch Zeitstempelung abgesichert wird, ist die Verbindlichkeit der Übermittlung wesentlich, was durch Quittierungsmechanismen unterstützt wird.

Es ist davon auszugehen, dass die derzeitigen Anforderungen an die Produktivdatenkommunikation künftig durch Einführung neuer Sensorik (Bildaten) in Bezug auf die Übertragungshäufigkeit und die Größe der einzelnen Daten steigen werden. Zusätzlich ist zu erwarten, dass der Kommunikationsumfang insgesamt steigen wird, beispielsweise für die Bereitstellung von zusätzlichen Prozessdaten für eine Analyse in Echtzeit oder durch die zunehmende Funktionsverteilung in einem Industrie-4.0-System.

Neben diesen übertragungsspezifischen Aspekten sind auch heute schon weitergehende Anforderungen abgedeckt, die etwa die Verfügbarkeit des Kommunikationssystems, Security- und Safety-Eigenschaften betreffen. Diese Anforderungen werden künftig vermutlich eher zunehmen, insbesondere unter dem Aspekt einer flexibleren und offeneren Wertschöpfungskette.

Heutige Kommunikationssysteme sind mit dem Fokus auf die Erfüllung der genannten Anforderungen entwickelt und eingeführt worden, etwa Feldbusse, Industrial Ethernet oder Industrial Wireless. Die technologische Entwicklung wird zu deutlich heterogeneren Systemen führen, bei denen unterschiedliche Übertragungstechnologien und Protokolle zusammenwirken müssen. Die Sicherstellung der genannten Anforderungen hat dabei die höchste Priorität.

### **Szenario 2: „Kommunikation für Engineering und Asset- Management“**

Dieses Szenario fokussiert auf die zumeist azyklische Übertragung von typisch weniger zeitkritischen Daten für die Konfiguration und Parametrierung sowie für die Auskunft über die aktuellen Zustände von Funktionen und Ressourcen. Aufgaben wie Engineering der Funktionen, der Geräte und des Netzwerks sowie Condition-Monitoring, Optimierung und Asset-Management fallen in diesen Bereich. Im Beispiel adressiert dies die Parametrierung des Frequenzumrichters.

Angesichts der Relevanz von Engineeringinformationen wird häufig eine bestätigte Kommunikation gefordert, damit die Verlässlichkeit des Engineerings sichergestellt werden kann. Zudem wird häufig eine

zusätzliche Sicherstellung der Integrität der Daten gefordert. Dies ist besonders für das Engineering von Safety- und Security-Funktionen wesentlich. Neben einzelnen Parametersätzen werden oft größere Datenmengen (Bulk-Data) ausgetauscht, was durch geeignete Dienste unterstützt wird.

Insbesondere das Engineering erfolgt sowohl durch Kommunikation zwischen einem Werkzeug und einer Komponente in einem dedizierten „Netz“ (z. B. in einer Werkstatt) als auch direkt im Produktivsystem. Im letzteren Fall muss sichergestellt werden, dass die Priorität der Produktivdatenkommunikation gegeben ist.

Die sich durch die Digitalisierung ergebenden neuen Möglichkeiten im Engineering, beispielsweise durch digitale Bereitstellung von Beschreibungen, Dokumenten, Simulationsmodellen und Ähnlichem führen zu einer Verkürzung der Inbetriebnahmezeit und stellen damit einen unmittelbaren Nutzen dar.

Aufgaben des Asset-Managements werden heute teils auf dem Gerät implementiert (z. B. Selbstüberwachung [2], Selbstanpassung), teils in überlagerten Systemen auf Basis von Zustandsdaten ausgeführt. Die Zunahme an Verarbeitungsleistung in den Komponenten wird hier einerseits zu einer besseren Aggregation der Daten und damit zu einer Reduzierung des Datenaustauschs führen, andererseits aber auch zu zunehmender Kommunikation mit anderen Komponenten zur Gewinnung von Kontextinformation. Die Bereitstellung von Daten durch Monitoring führt ebenfalls zu einer zunehmenden Kommunikation. Ebenso ist davon auszugehen, dass die Nachvollziehbarkeit von Änderungen an den Komponenten (Audit-Trail) immer wichtiger wird, insbesondere wenn die Änderungen über die für Automatisierungssysteme typischen langen Nutzzeiten lückenlos dokumentiert werden sollen. Dies führt, zusammen mit der Bereitstellung anderer im Gerät gewonnener nutzungsrelevanter Daten über die Lebenszeit, ebenfalls zu einer Zunahme an Kommunikation.

Heutige Kommunikationslösungen bieten optimierte Funktionen zur azyklischen Kommunikation von Parameter- und Zustands-

daten an. Darüber hinaus kommen zunehmend IT-Protokolle auf Basis von TCP und UDP wie unter anderem das OPC UA-Binary-Protocol, SNMP zum Netzwerkmanagement oder HTTP für webbasierte Lösungen zum Einsatz. Auch hier werden künftig durch die Heterogenität der Kommunikationsnetze zusätzliche Anforderungen in Bezug auf die Koexistenz und die funktionale Durchgängigkeit gestellt.

Viele der beschriebenen Funktionalitäten betreffen das Management von vernetzten Komponenten und werden in Industrie 4.0 durch deren Verwaltungsschalen zugänglich gemacht. Dies schließt Engineeringfunktionen zur Laufzeit (Diagnose- und Auskunftsfunktionen, Plug & Produce, Selbstadaption u. Ä.) ebenso ein wie den Zugang zu Dokumentationen, Simulationsdaten und Life-Cycle-Daten auf Typ- und Instanzebene.

Industrie 4.0 definiert hierfür eine dienstbasierte Kommunikation, bei der neben einfachen semantikkfreien Transportdiensten Verwaltungs- und Interaktionsdienste (Plattformdienste) ebenso umgesetzt werden wie applikationsspezifische Dienste mit expliziter Semantik. Hierbei kommen sowohl enge wie lose Kopplungen zwischen den beteiligten Partnern zum Einsatz. Die effiziente Abbildung dieser Dienste auf die konkreten Übertragungsprotokolle und die Unterstützung von Plattformdiensten zum Beispiel durch explizit definierte Netzwerkfunktionen und durch die Selbstbeschreibung von Netzwerkkomponenten und -funktionen wird wesentlich sein für eine effiziente Implementierung und Nutzung des Verwaltungsschalenkonzepts.

### **Szenario 3: „Produktdatenkommunikation über die Lebenszeit“**

Für den effizienten Einsatz von (Automatisierungs-)Produkten in einer der Wertschöpfungsketten „Verfahrens- und Anlagenentwicklung“ und „Anlagenbau und Anlagenbetrieb“ nach [3] wird es immer wichtiger, die Details bei ihrer Planung und Entwicklung (Typdaten) und bei ihrer Herstellung (Instanzdaten) zu kennen. Zusätzlich ist die Bereitstellung von Daten aus dem Engineering und dem Einsatzkontext einer Produktinstanz für Aufgaben der Instandhaltung und der Optimierung von zunehmender Bedeutung.

Darüber hinaus ist es für die Wertschöpfungsketten „Produkt- und Produktlinienentwicklung“ sowie „Produktproduktion und After-Sales-Services“ [3] wesentlich, Informationen aus dem Einsatz von Produktinstanzen im Betrieb zu gewinnen, um die kontinuierliche Verbesserung und Weiterentwicklung des Produkts optimal zu unterstützen. Im Beispiel des Frequenzumrichters könnte so der Hersteller in Abstimmung mit dem Anwender auf Life-Cycle-Daten der verbauten Frequenzumrichter zugreifen und diese im Hinblick auf die Verbesserung des Produkts analysieren.

Dabei bestehen verschiedene Möglichkeiten, diese Informationen zu kommunizieren. Einerseits kann ein Produkt selbst die Daten speichern und verarbeiten und kontinuierlich oder diskontinuierlich bei Bedarf diese Daten an den Produkthersteller übermitteln bzw. in Empfang nehmen, andererseits können diese Daten über das Produktionsnetzwerk des Systems, in dem das Produkt als Komponente eingesetzt ist, gewonnen, aufbereitet und bereitgestellt werden.

Wird das Produkt selbstständig, etwa über ein dediziertes Kommunikationssystem wie Mobilfunkkommunikation, seine Daten übermitteln, sind generelle Aspekte der Koexistenz zu beachten. Erfolgt die Kommunikation über das Produktionsnetzwerk, bestehen neben Anforderungen bezüglich der Datenmenge (Bulk-Data) auch solche hinsichtlich der Berechtigungen und der Informationssicherheit allgemein.

Sollen über die Produktdatenkommunikation Rückwirkungen auf die konkrete Instanz vorgenommen werden, etwa ein Firmware-Update, so sind hierfür die erforderlichen organisatorischen Vorbedingungen wie Freigaben durch den Hersteller [4] und die technischen und applikativen Voraussetzungen wie der Anlagenzustand zu beachten.

Die beschriebenen Szenarien führen zu unterschiedlichen Anforderungen an die industrielle Kommunikation. Dabei lassen sich teilweise quantitative Aussagen ableiten, teilweise sind lediglich qualitative Aussagen möglich. Verschiedene Gremien haben Dokumente erarbeitet und veröffentlicht, die den Anwendern Unterstützung bei der Spezifikation ihrer Anforderungen

geben, gleichzeitig damit für die Hersteller von Kommunikationslösungen Empfehlungen für die Beschreibung von Fähigkeiten der Lösungen bieten. Insbesondere die klare Definition von Kenn- und Einflussgrößen in [5] sei hier genannt, weitere Anforderungen sind unter anderem in [6] und in [7] zu finden.

In Tabelle 1 ist die Relevanz typischer Anforderungen an Kommunikationslösungen zusammengefasst. Es sei betont, dass die in dieser Tabelle aufgeführten Kriterien keinen Anspruch auf Vollständigkeit erfüllen, sondern als Orientierung für die anwendungsfallabhängige Formulierung von Anforderungen dienen sollen. Sie orientieren sich daher an den beschriebenen Szenarien und verzichten auf konkrete Werte.

**Tabelle 1: Relevanz typischer Anforderungen an Kommunikationslösungen**

Anforderung	Verfahrenstechnik	Fertigungstechnik	Antriebstechnik	Kommunikation für Engineering und Asset-Management	Produktdatenkommunikation
<b>Zeitaspekte</b>					
Datenrate	+	++	++	+	-
Jitter	-	+	++	-	-
Zykluszeit	++	++	++	-	-
Updatezeit	++	++	++	+	-
Synchronisation	+	+	++	-	-
Zeitstempelung	++	++	++	+	+
<b>Applikationsaspekte</b>					
Kleine Datenstrukturen	++	++	++	+	-
Große Datenstrukturen	-	-	-	++	++
Gerätetausch zur Laufzeit	++	+	+	-	-
<b>Robustheitsaspekte</b>					
Verfügbarkeit	++	++	++	+	-
Redundanz	++	+	+	-	-
Recovery-Time	+	++	++	-	-
Safety	++	++	++	+	-
Security	++	++	++	++	++
Koexistenz	++	++	++	+	-
<b>Mobilität</b>					
Mobile Assets	+	+	++	+	++
Netzabdeckung	++	+	+	++	+

++ hohe Relevanz, + Relevanz, - geringe Relevanz

Darüber hinaus existieren allgemeine Anforderungen an Kommunikationslösungen, die sich aus dem Einsatzumfeld ableiten lassen. Dazu gehören unter anderem die spezifischen Umgebungsbedingungen (Temperatur, Vibration, Feuchte, EMV etc.), die entsprechend robuste Lösungen erfordern. Interoperabilität zwischen Produkten

verschiedener Hersteller ist seit jeher eine wesentliche Anforderung, sie wird angesichts der zunehmenden Heterogenität der Systeme eher noch steigen. Qualifizierung und Zertifizierung von Lösungen haben ebenso ihren Platz auf der Anforderungsliste.

## 4 Kommunikation in Industrie 4.0

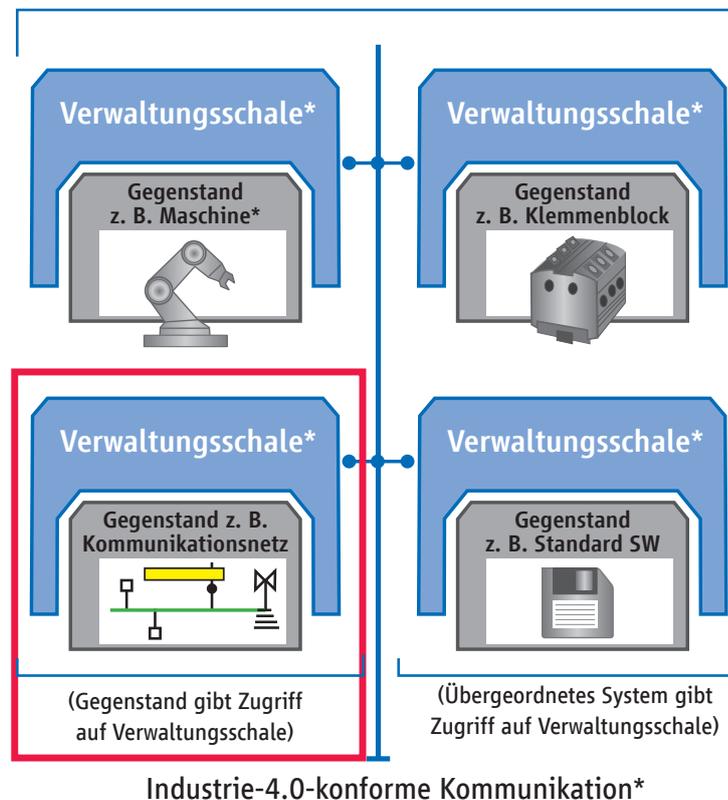
Im Kontext von Industrie 4.0 werden alle beschriebenen Integrationsprozesse adressiert. Daraus lässt sich ableiten, dass prinzipiell auch alle der genannten Interaktionen und Kommunikationsrelationen unterstützt werden müssen. Dabei müssen die Kommunikationslösungen die Anforderungen aus den Interaktionen abdecken.

Eine einzelne technische Lösung, die alle genannten Anforderungen abdeckt, wird kaum ökonomisch sinnvoll umsetzbar sein. Daher ist davon auszugehen, dass in einem Industrie-4.0-System eine heterogene Kommunikationsstruktur umgesetzt sein wird. Damit diese aber mit einem vertretbaren Aufwand realisiert und genutzt werden kann, sind möglichst einheitliche Lösungen für deren Engineering, Betrieb und Management erforderlich.

Einen geeigneten Lösungsansatz stellt hierfür das Konzept der Industrie 4.0-Komponente dar [8]. Nicht nur physische Assets wie ein Gerät oder eine Maschine werden in Industrie 4.0 über eine Verwaltungsschale zu Industrie 4.0-Komponenten (Bild 6), sondern auch immaterielle Assets wie Pläne oder Funktionen. Auch eine Kommunikationsrelation oder ein ganzes Netzwerk stellen solche Assets dar. Die Verwaltungsschale deckt die relevanten Aspekte des Assets ab. Sie folgt dabei den im Referenzarchitekturmodell für Industrie 4.0 (RAMI4.0) [9] dargestellten Festlegungen zu den „Layers“ (Bild 7).

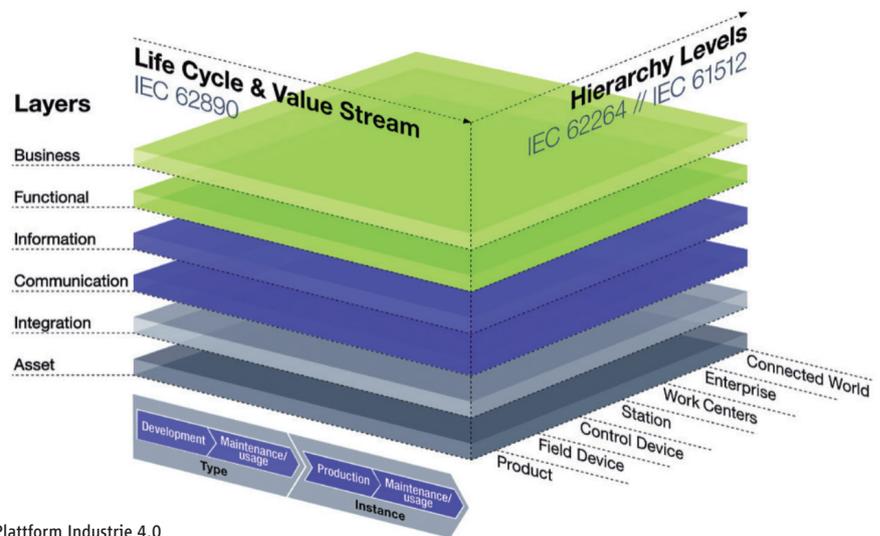
**Bild 6: Asset und Verwaltungsschale formen eine Industrie 4.0-Komponente (nach [8])**

### Beispiele für Industrie 4.0-Komponente



\* Schnittstellen/Datenformate Industrie-4.0-konform ausgeführt

**Bild 7: Einordnung der Kommunikation in das Referenzarchitekturmodell für Industrie 4.0 (RAMI4.0)**



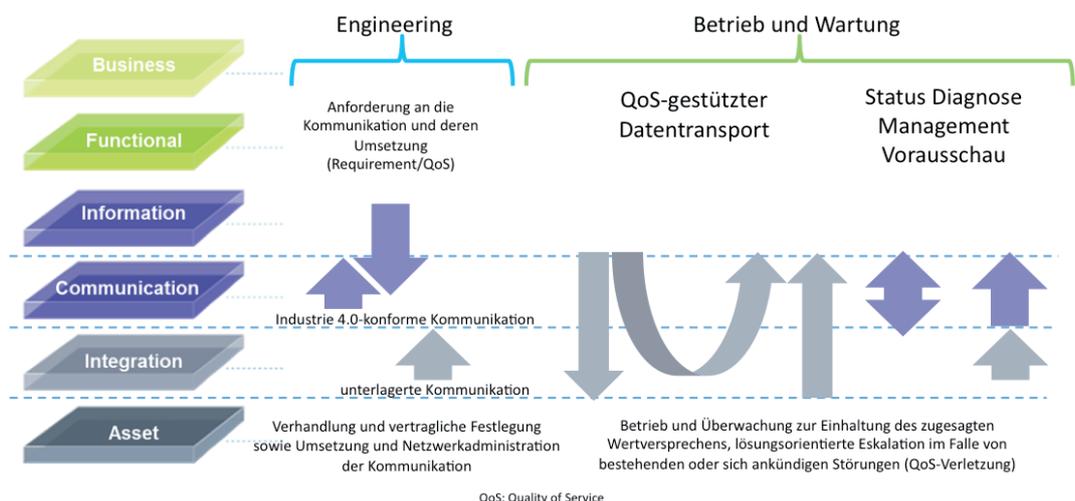
Quelle: Plattform Industrie 4.0

Aus dem Konzept der Industrie 4.0-Komponente ergibt sich, dass die Eigenschaften einer Kommunikationsrelation bzw. eines Netzwerks in entsprechenden Teilmodellen in der Verwaltungsschale repräsentiert sind. Die konkrete Ausgestaltung der Teilmodelle hat gerade begonnen und wird in der nächsten Zeit weiter vorangetrieben werden. Der Zugriff auf die Teilmodelle erfolgt über Industrie-4.0-konforme Dienste. Damit ist der einheitliche Zugriff auf die Eigenschaften einer Komponente möglich. Diese Art des Zugriffs erfolgt für Aufgaben des Engineerings und des Managements der Kommunikation.

zwischen den Komponenten. Im Engineering werden insbesondere die Anforderungen an die spätere Produktivdatenkommunikation im Betrieb definiert. Sie bilden die QoS-Anforderungen, die durch geeignete Auswahl von Komponenten umgesetzt werden. Aus den Anforderungen werden auch die Service-Level-Agreements abgeleitet, die als Wertversprechen zwischen den beteiligten Kommunikationspartnern bzw. mit den Infrastrukturanbietern geschlossen werden. Deren Einhaltung wird in der Betriebsphase überwacht. Durch eine geeignete Eskalationsstrategie und ein robustes Systemverhalten (z. B. Ersatzwertstrategien, graceful degradation) muss sichergestellt werden, dass das System zu jedem Zeitpunkt betriebsfähig ist.

Die verschiedenen Phasen im Lebenszyklus erfordern unterschiedliche Interaktionen

**Bild 8: Kommunikation in verschiedenen Phasen des Lebenszyklus**



Quelle: Johannes Kalhoff, Phoenix Contact

Die Produktivdatenkommunikation zwischen den Komponenten kann auch über eine andere als eine Industrie-4.0-konforme Art erfolgen. Dadurch können applikations-spezifische Anforderungen im Sinne des Quality of Service berücksichtigt werden, etwa bezüglich Echtzeit. Sie ist dem Integration-Layer des RAMI4.0 zuzuordnen. Hingegen findet die Industrie-4.0-konforme Kommunikation dienstebasiert statt und prägt den Communication-Layer im RAMI4.0.

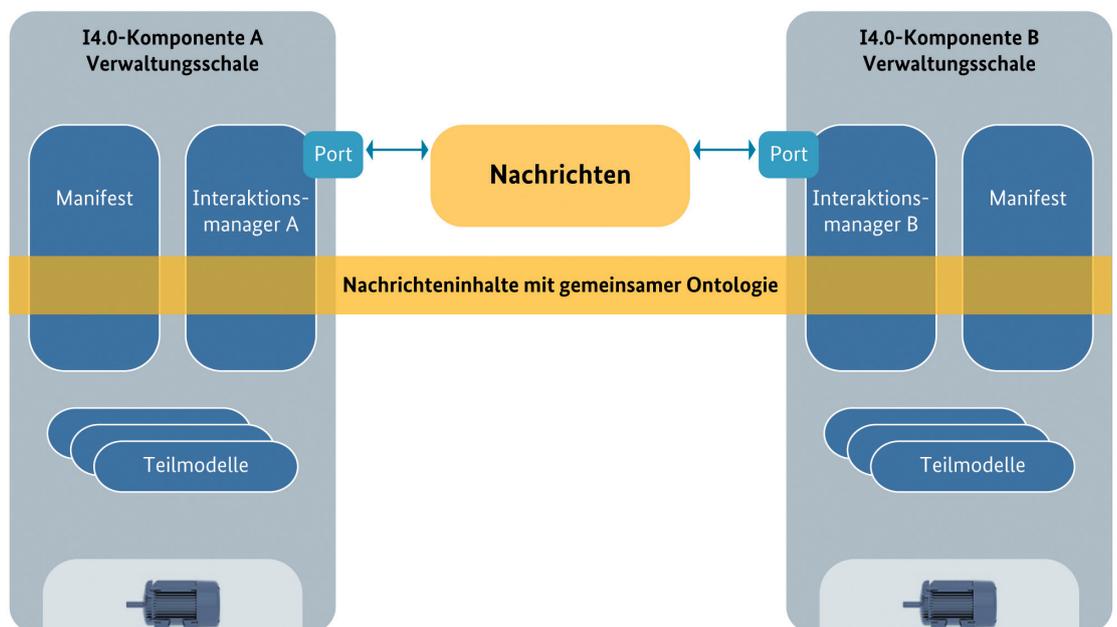
Betrachtet man den Begriff der Kommunikation aus Sicht der Applikation, so lässt sich dieser in verschiedene Teilbereiche untergliedern. Neben der eigentlichen Applikationsbeziehung, bei der als Interaktion Daten zwischen Applikationen ausgetauscht werden bzw. der Aufruf von Funktionen erfolgt, müssen die Produktiv- und Verwaltungsdienste sowie die Transportprotokolle betrachtet werden, die letztlich die Kommunikation realisieren. Dabei wird durchaus eine heterogene Dienste- und Protokollwelt genutzt, um über mehrere Pfade (Kommunikationsbeziehungen) eine Applikationsbeziehung abzubilden.

Für die Anwendungssicht relevant sind die Funktionen, Daten und Objekte der betei-

ligten Kommunikationspartner. Hierzu haben sich vereinheitlichte und teils standardisierte Datenmodelle wie zum Beispiel OPC UA in der Automation herauskristallisiert, die auch künftig eine wesentliche Rolle spielen dürften. Die Einbeziehung dieser Entwicklungen erfolgt im Kontext von Industrie 4.0 über die Teilmodelle der Verwaltungsschalen der Komponenten. Dabei sind die Funktionen dem Functional Layer des RAMI4.0 zuzuordnen, während die Datenstrukturen im Information-Layer angesiedelt sind. Die Nutzung von semantischen Beschreibungen ermöglicht die geforderte Flexibilität in den Applikationsbeziehungen in der Nutzungsphase.

Wesentlich ist hier, dass die Anforderungen aus Applikationssicht, zum Beispiel die Zyklusdauer von Datenaufrufen, die Größe der angeforderten Datenmenge und mögliche Echtzeitbedingungen, die Anforderungen an die Kommunikation bestimmen. Hierzu ist es erforderlich, Quality-of-Service-Festlegungen (QoS) abzuleiten. Davon hängt die – zunehmend dynamisch (in Industrie 4.0 durch Interaktionsmanager) ausgehandelte – Abbildung der Applikationsbeziehung auf konkrete Kommunikationsbeziehungen ab (Bild 9).

**Bild 9: Aushandeln von Anforderungen und Eigenschaften durch Interaktionsmanager [10]**



Quelle: Plattform Industrie 4.0

**Bild 10: Dienstehierarchie**



Quelle: Prof. Martin Wollschlaeger, TU Dresden

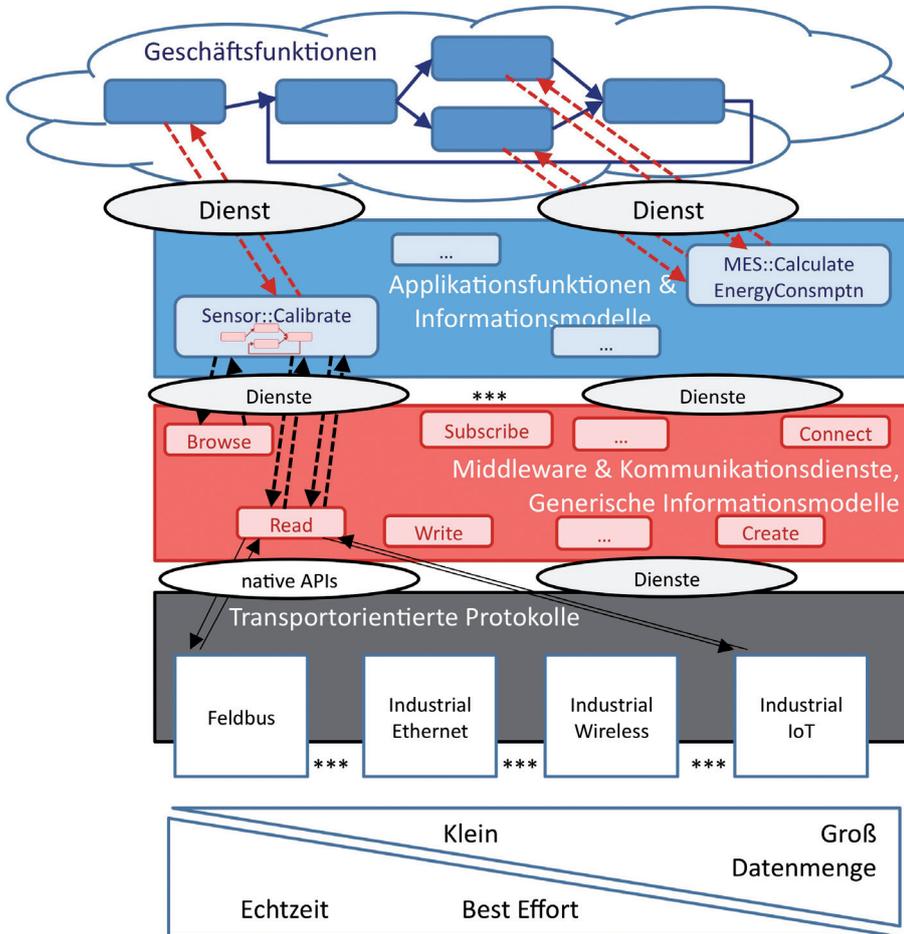
Die Applikationsbeziehungen werden zunehmend auf Dienste abgebildet. Hier ist es erforderlich, eine Strukturierung der Dienste vorzunehmen [11]. In Industrie 4.0 bilden die applikations- bzw. anwendungsdomänenspezifischen Dienste (Application-Services) dabei die oberste Ebene eines konsistenten Dienstmodells (Bild 10). Sie werden ergänzt um domänenunabhängige Verwaltungsdienste (Plattformdienste), die beispielsweise Identifikations- und Auskunftsfunktionen, Registrierungs- oder Lokalisierungsfunktionen beinhalten. Für den Datenzugriff auf die Verwaltungsschichten werden generische, technologieneutrale Dienste (Information-Services) bereitgestellt, die Funktionen zum Lesen und Schreiben im Datenmodell sowie zum Erzeugen, Auffinden oder Löschen von Datenobjekten abbilden. Die expliziten transportbezogenen Aspekte werden durch Communication-Services realisiert, die unter anderem die Kommunikationsparadigmen und die QoS-Aspekte der Kommunikation berücksichtigen. Solange die Dienste konform zu den Industrie-4.0-Festlegungen beschrieben sind, werden sie dem Communication-Layer des RAMI4.0 zugeordnet.

## 5 Technische Herausforderungen

Die oben aufgeführten Anforderungen an die Kommunikation im Umfeld von Industrie 4.0 müssen durch geeignete Maßnahmen umgesetzt werden. Dabei werden neben technischen Details unterschiedliche Rollen weiter ausgeprägt. Die Anwender der industriellen Kommunikation werden einerseits stärker als bisher die konkreten Anforderungen an Quality of Service für einzelne Applikationsbeziehungen definieren müssen, andererseits müssen sie zunehmend auf Dienste aufsetzen. Die Hersteller von Komponenten und Systemen werden solche Dienste anbieten und beschreiben sowie natürlich geeignete flexible Implementierungen in ihren Produkten realisieren müssen. Schließlich werden die Provider von Netzwerken und von Netzwerkinfrastruktur flexible Lösungen anbieten, um die Anforderungen der Anwender abdecken zu können. Dies schließt auch vertragliche Aspekte

ein (Service-Level-Agreements). Hier wird eine Verschiebung stattfinden hin zu Anbietern von Konnektivität als Dienst (Network as a Service). Damit werden Anwender in die Lage versetzt, Planung, Aufbau, Konfiguration und Betrieb des gesamten Netzwerks als Dienstleistung einzukaufen.

**Bild 11: Ebenen der industriellen Kommunikation – Applikationsfunktionen, Kommunikationsdienste und Middleware, Transportprotokolle (nach [1])**



Quelle: Prof. Martin Wollschlaeger, TU Dresden

Im Integration-Layer des RAMI4.0 sind die Transportprotokolle angesiedelt, auf die Dienste abgebildet werden. Dabei werden entsprechend den Anforderungen und Paradigmen sowie unter dem Aspekt der Systembildung geeignete Protokolle ausgewählt. Bereits heute besteht hier aufgrund dieser unterschiedlichen Anforderungen und der Einsatzbereiche (Hierarchieebenen) eine große Heterogenität. Diese Heterogenität wird durch aktuelle Entwicklungen im Kontext von (Industrial) Internet of Things (IIoT), 5G-Kommunikation, Time-Sensitive-Networks (TSN), Middleware-Transportdiensten und Ähnlichem noch zunehmen.

Time-Sensitive-Networks sind eine aktuelle Entwicklung im Bereich der Netzwerkkommunikation, die auf Ethernet-Audio-Video-Broadcasting (AVB) beruht und durch die IEEE standardisiert wird. Diese Technologie geht davon aus, dass für die Datenströme bestimmter Kommunikationskanäle spezifische Übertragungsanforderungen bestehen. Die Grundidee ist, diese Datenströme durch priorisierte Verarbeitung in den Infrastrukturkomponenten (Switches, Router) geeignet zu behandeln (Stream-Reservation). Die in IEEE 802.1p/Q definierten Mechanismen reichen dafür nicht aus. In IEEE 802.1 wird daher eine weitergehende Lösung spezifiziert, die durch den Einsatz von Algorithmen zum „Traffic-Shaping“ nunmehr diese QoS-Aspekte realisiert. So kann nach IEEE802.1Qbv ein „Time-Aware-Shaper“ den Zugriff für Klassen mit unterschiedlichen Kommunikationsanforderungen auf das Netzwerk steuern. Die „Traffic-Shaper“ können dabei im Netzwerk-Engineering angepasst werden. Dies ist auch für die Automation eine interessante Lösung, die das Szenario 1 adressiert.

Die Kommunikationssysteme der fünften Generation (5G-Kommunikation) integrieren nach [12] vorhandene drahtgebundene Kommunikationslösungen mit Funklösungen, die sich sowohl in Anwenderhoheit als auch in Betreiberhoheit befinden können, zu einem nach außen hin homogenen System, das für die Domänen der Endnutzer (Verticals) angepasste Dienste mit belastbaren Güteaussagen (Quality of Service) bereitstellt. Erreicht werden soll dies durch eine Virtualisierung von Netzwerkfunktionen, die flexibel und dynamisch auf die Kommunikationsinfrastruktur abgebildet wird.

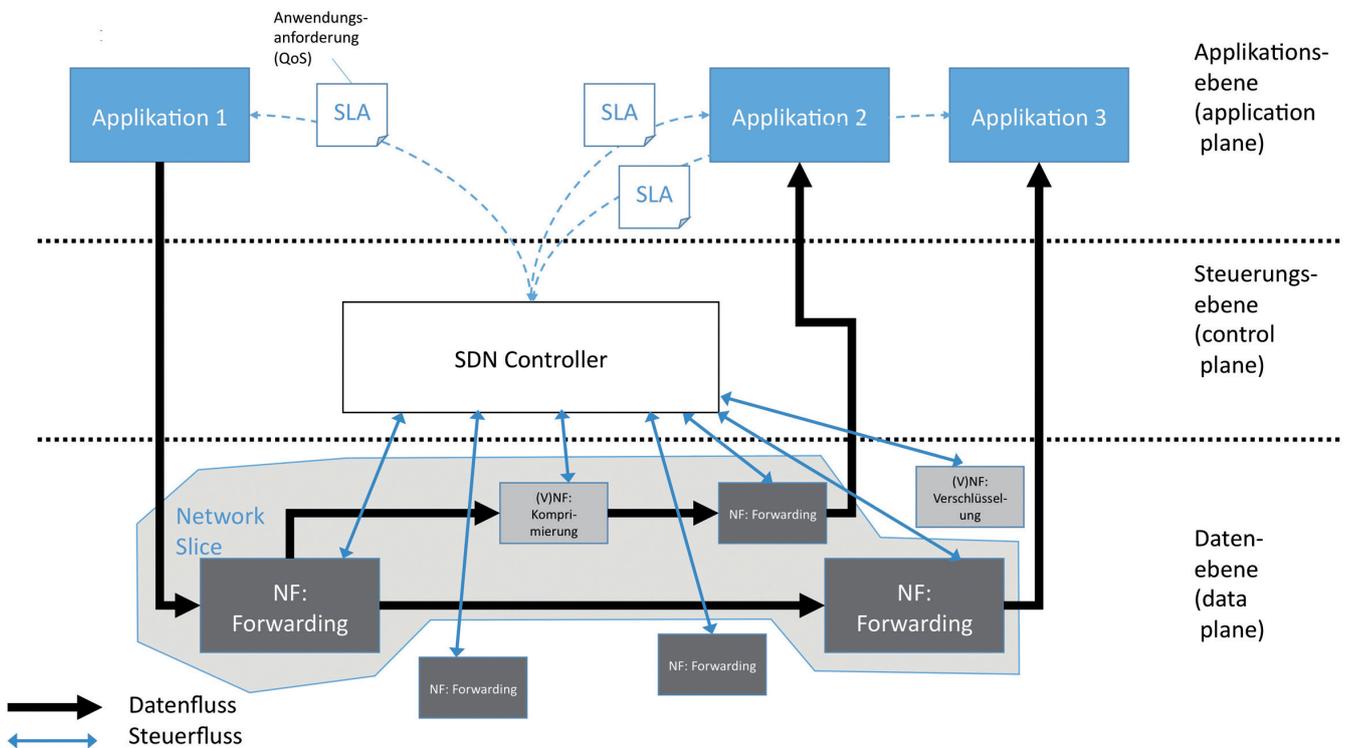
In diesem Themenfeld ist auch das Management der für die Applikation transparenten Infrastruktur und ihrer Komponenten wesentlich. Dabei werden Aspekte wie Adressvergabe, Routing, Security-Management, Performance, Diagnose, Monitoring etc. immer wichtiger, um die Anwendungsanforderungen erfüllen zu können. Dies

erfordert ein geeignetes Konzept zum Netzwerk- und Systemmanagement, das aktuelle Entwicklungen wie Software-defined Networks (SDN) und Network-Function-Virtualization (NFV) einbezieht.

Software-defined Networks (Bild 12) trennen die in Hardware ausgeführte Funktion zur Datenweiterleitung (forwarding) in der Datenebene (data plane) von deren Steuerung (control plane). Die Realisierung der Steuerung durch Software in einem SDN-Controller ermöglicht eine wesentlich flexiblere Beeinflussung der Regeln für die Weiterleitung, sodass Netzwerke aufgebaut werden können, die feingranularer, flexibler und letztlich aufwandsärmer an konkrete Anwendungsanforderungen angepasst werden können.

Als Network-Function-Virtualization wird ein Konzept bezeichnet, das die Bereitstellung von Netzwerkfunktionen (NF) und -infrastruktur in virtualisierten Umgebungen beinhaltet. Anwendungen können auf explizit verfügbare Funktionen (z. B. für Weiterleitung, Komprimierung, Verschlüsselung) zugreifen, die jedoch durch eine Virtualisierung bereitgestellt und physisch unterschiedlich realisiert werden, das heißt auf unterschiedlichen Ressourcen laufen können. Hiermit gelingt gleichzeitig die Entkopplung von den transportorientierten Protokollen gegenüber den Middleware-Diensten.

**Bild 12: Software-defined Network, Network-Functions und Network-Slice im Beispiel**



Quelle: Prof. Martin Wollschlaeger, TU Dresden

Die Anforderungen aus der Applikation werden an den SDN-Controller übergeben, der die verfügbaren Netzwerkfunktionen und die -ressourcen entsprechend diesen Anforderungen steuert und überwacht (Monitoring). Hierzu vereinbaren Applikation und Network-Controller einen Vertrag (Service-Level-Agreement, SLA). Die aus Applikationssicht relevanten physischen Netzwerkfunktionen (NF) und virtualisierten Netzwerkfunktionen (VNF) können in einem logischen Netzwerk (network slice) zusammengefasst werden. Network-Slices sind somit ähnlich zu virtuellen lokalen Netzen (VLAN) bei switched Ethernet.

Es ist zu erwarten, dass sich die transportorientierten Protokolle sehr stark weiterentwickeln werden. Begünstigt durch die dynamische Entwicklung neuer Kommunikationstechnologien wie zum Beispiel 5G, SDN oder IoT-Protokolle werden sich neue Möglichkeiten für die Kommunikation ergeben. Dabei ist es wichtig, dass die Anforderungen der Applikation entsprechend optimal erfüllt werden. Daraus resultiert eine steigende Variantenvielfalt für den Integration-Layer im RAMI4.0, die zu einer Zunahme der Heterogenität der Netzwerke führt.

Gleichzeitig werden neue Lösungen für das Management der Netze und Protokolle entstehen. Das Verschmelzen von Engineering und Betrieb wird zudem die Prozesse beeinflussen, die in diesen Phasen ablaufen. Dies schließt die Aktivitäten und Werkzeuge zum Beispiel für die Planung von Netzwerktopologie, von Last- und Funktionsverteilung, aber auch von Security ein. Hier werden die Mechanismen zur Automation des Managements zunehmen, wie beispielsweise automatische Adressvergabe oder Initialkonfiguration in IPv6. Die Technologievelfalt muss hierbei natürlich über die Anbieter von Lösungen abgedeckt werden, sie darf den Anwender jedoch nur erreichen, wenn er dies ausdrücklich möchte. Das bedeutet, dass das Management der heterogenen Netze durch ein übergreifendes, funktionsorientiertes Netzwerk- und Systemmanagement vereinheitlicht und gegenüber dem Anwender gekapselt wird. Damit automatische Mechanismen greifen, ist eine Selbstbeschreibung der Kommunikationseigenschaften erforderlich, gemeinsam

mit Verfahren zur automatischen Rückdokumentation. Übergreifendes Ziel muss es dabei sein, den Anwender durch praktikable Managementlösungen zu unterstützen.

Eng verbunden mit Kommunikationsanforderungen sind Verarbeitungsaspekte. Die zu erwartende flexible Verteilung von Applikationsfunktionalität auf unterschiedlich vernetzte Ressourcen – von Edge-Devices über Fog- bis hin zu Cloud-Lösungen – führt einerseits zu unterschiedlichen, sich gegebenenfalls dynamisch ändernden Kommunikationsrelationen zwischen den Elementen einer verteilten Applikation. Andererseits werden durch die Applikationsanforderungen konkrete Kommunikationsanforderungen entstehen, die durch die Auswahl oder die geeignete Kombination von Kommunikationslösungen abgedeckt werden müssen.

So ist es zum Beispiel aus Sicht einer Applikation unerheblich, ob eine Funktion zum Condition-Monitoring direkt im Feldgerät, in einer SPS oder in einer Cloud implementiert wird – solange die erforderlichen Daten unter Einhaltung der Anforderungen an deren Dynamik bereitgestellt werden können. Dies wirkt sich jedoch massiv auf die Netze aus. So müssen im ersten Fall Vorgabewerte mit geringer Dynamik an das Gerät kommuniziert werden, während im letzten Fall große Mengen von hochdynamischen Daten in die Cloud übertragen werden. Ähnliches gilt für die Funktionsverteilung in einem System: Ändert sich die Deployment-Struktur von zentral nach dezentral, so entstehen zusätzliche Anforderungen an die Kommunikation.

## 6 Kommerzielle Aspekte

Nicht nur die technischen Eigenschaften künftiger Kommunikationslösungen werden sich weiterentwickeln, auch werden neue Rollen in der Wertschöpfungskette entstehen. Werden in heutigen Installationen beim Anwender die Netze zumeist in eigener Hoheit errichtet, betrieben und verwaltet, so ist zu erwarten, dass zukünftig Netzwerk- und Telekommunikationsdienstleister diese Aufgaben teilweise oder vollständig übernehmen. Insbesondere bei den 5G-Systemen ist mit solchen Strukturen zu rechnen. Es wird aus Sicht der Automation darauf ankommen, die Anforderungen an die Kommunikation klar zu formulieren und über entsprechende Service-Level-Agreements belastbare Zusicherungen der Anbieter zu erhalten. Erste Anforderungen dazu sind in [7] beschrieben. Dort ist auch die Forderung verankert, künftige 5G-Systeme in Eigenverantwortung, sozusagen privat, errichten und betreiben zu können. Inwieweit sich dies durchsetzen lässt, wird die Zukunft zeigen.

Eine ganzheitliche Betrachtung und Abstraktion von Kommunikationsnetzen, wie sie in den vorherigen Kapiteln vorgenommen wurde, führt konsequent zu einem Paradigma: „Network as a Service“, in dem aus Anwendungssicht nur die technischen Anforderungen und Fähigkeiten aufeinander abgebildet werden, die konkrete technische Realisierung hingegen keine Rolle mehr spielt. Anbieter von „Connectivity“ und von „Infrastructure as a Service“ existieren schon heute, ihre Rolle wird künftig sicher an Bedeutung gewinnen. Ebenso sind die Anbieter von Plattformen („Platform as a Service“) heute schon zahlreich, auch Anbieter von vernetzten Verarbeitungsressourcen („Software as a Service“) existieren am Markt. Neben den klassischen Virtualisierungen und Cloudlösungen für große Anwendungssysteme ist eine stetige Entwicklung hin zu IoT-Plattformen zu erkennen, mit dem klaren Ziel, Anwendungen des Internet of Things zu unterstützen. Diese Entwicklungen sind heute bereits in der Automation als integraler Bestandteil anzusehen. Begriffe wie IIoT (Industrial Internet of Things) und M2M-Kommunikation (Machine to Machine) sind inzwischen etabliert. Anbieter für derartige Lösungen im Anwendungskontext der Automation werden sich mit den Anwendern über die

zu realisierenden Anforderungen und deren Garantie abstimmen müssen.

Für die Anwender bedeutet dies, einen Teil der Hoheit über „das Netzwerk“ abgeben zu müssen. Es ist andererseits eine Chance, Aufwand und Kosten zu reduzieren, vorausgesetzt, der Anbieter bietet entsprechende – automatisierungsgerechte – Garantien zur Verfügbarkeit der Netze. Die Auswirkungen auf Qualifizierungs- und Zertifizierungsprozesse können derzeit nur sehr begrenzt abgeschätzt werden.

Neben dem reinen Netzzugang bieten künftige Netze auch eine Reihe von Netzwerkfunktionen. Hierzu werden zum Beispiel Funktionen für die Anmeldung am Netzwerk, für Verschlüsselung, Abrechnung, Speicher etc. gezählt. Die derzeitige Diskussion über solche Funktionen und ihre Nutzung in der Automation ist erst am Anfang, sie wird aber wahrscheinlich zu Anbietern für „Network Functions“ führen – einem weiteren Player in der Wertschöpfungskette.

Ein immanentes Thema von Vernetzung ist die Informationssicherheit (Security). Auch hier existieren Lösungen im IT-Umfeld, die für die Anwendung in der Automation grundsätzlich übertragbar sind. Automatisierungsspezifische Ausprägungen der Anforderungspriorisierung (Availability-Integrity-Confidentiality) sind hierbei natürlich zu beachten. Die bislang wohlgeordneten – jedoch recht starren – Vernetzungsstrukturen in der Automation werden sich ändern und deutlich mehr Flexibilität erlauben. Die bislang häufig genutzten Sicherheitskonzepte durch „trusted zones“ werden hier nicht mehr ausreichen. Rollenbasierte, ganzheitliche Lösungen mit strikten Policies müssen ebenso umgesetzt werden wie sichere Identitäten und ein umfassendes Security-Management. Dies setzt Infrastrukturmaßnahmen voraus und fordert auch von den vernetzten Komponenten, Schlüssel und Zertifikate sicher ablegen zu können. Neben der Bereitstellung von Security auf Vernetzungsebene durch entsprechende Funktionalitäten wird auch die Datennutzung und -ablage entsprechende Security-Anforderungen erfüllen müssen. Aktivitäten wie Industrial-Data-Space [13] sind hierfür interessante Ansätze. Im Kontext von Industrie 4.0 existieren ver-

schiedene Aktivitäten, die sich auf Security-Themen fokussieren.

Flexibilität und dynamische Anpassung der Kommunikation über unterschiedliche Netze führen auch zu Änderungen in Bezug auf die Abrechnung für deren Nutzung. Waren insbesondere die prozessnahen Kommunikationslösungen praktisch vollständig in der Hoheit der Anwender als private Betreiber und daher ohne jede Form von Nutzungserfassung zu Abrechnungszwecken, müssen künftig durchaus auch in diesem Kontext durch Dienstleister bereitgestellte Dienste über entsprechende Abrechnungsmodelle vergütet werden. Wie diese Abrechnungsmodelle konkret aussehen (pay per use, Zeit-, Volumen- oder Kontingentmodelle, Flatrates etc.), ist stark vom Anwendungsfall abhängig und bedarf sicher noch weiterer Diskussion. In jedem Fall ist die Voraussetzung dafür die genaue Erfassung der tatsächlichen Nutzung und die eindeu-

tige Zuordnung zu einer nutzenden Instanz. Künftige Komponenten – Endgeräte wie Infrastruktur – werden solche Funktionen implementieren müssen.

Die Kommunikationsanforderungen entlang des Life-Cycle werden unterschiedlich ausgeprägt sein. Ebenso werden sich die Stakeholder der Kommunikation für die unterschiedlichen Phasen unterscheiden. Um diesen Unterschieden Rechnung zu tragen und diese in Bezug auf das (gesamte) Netzwerk zu entkoppeln, werden im 5G- und SDN-Kontext Abstraktionen diskutiert, die spezifische, für die Beteiligten angepasste, logische Netzwerke bereitstellen. Diese „network slices“ erlauben es, verschiedene Anforderungsprofile dynamisch auf eine bestehende Infrastruktur abzubilden. Es ist vorstellbar, dass künftig Anbieter für solche Slices entstehen, die ihr Geschäftsmodell darauf aufbauen.

## 7 Zukunftsprognose

Die Digitalisierung wird auch künftig der wesentliche Trend in der Industrie sein. Die Bereitstellung von digital repräsentierten Modellen und von entsprechender Software zu deren Nutzung ermöglicht die Reduzierung von Aufwand, Zeit und Kosten für die Realisierung der Prozesse entlang der verschiedenen Wertschöpfungsketten. Gleichzeitig werden Themen wie Flexibilisierung und Individualisierung adressiert. Die technischen Entwicklungen von Elektronik und Informationstechnik wirken hierbei als Katalysator.

So führen in der Industrie Trends wie (I)IoT und Industrie 4.0 zu einer weiteren Verschmelzung der klassisch getrennten Bereiche von Information-Technology (IT) und Operation-Technology (OT). Dabei werden vielfach IT-Technologien eingeführt und adaptiert, die nicht zwingend für OT entwickelt wurden. Daher ist es erforderlich, die Randbedingungen und Anforderungen aus OT-Sicht an diese Technologien zu formulieren.

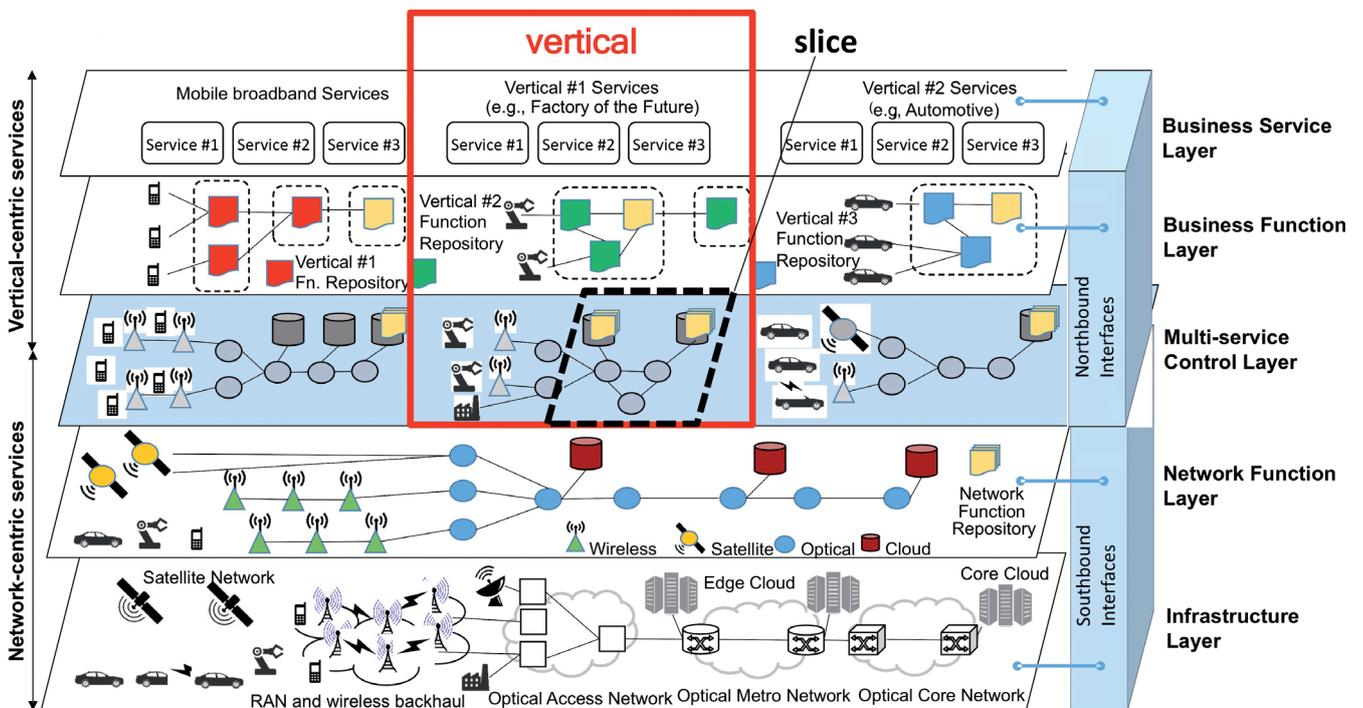
Zudem kommen künftig sehr unterschiedliche Systemarchitekturen zum Einsatz, die die klassische hierarchische Implementierungsstrategie massiv beeinflussen werden. Themen wie Cloud-, Edge- und Fog-Computing sind bereits jetzt in der Automation in Diskussion und teilweise in der Umsetzung. Sie werden insbesondere durch die steigende Leistungsfähigkeit der Komponenten und die Durchdringung mit IIoT stärker in den Fokus rücken. Dies erfordert die klare Trennung zwischen den – auch künftig einer Hierarchie folgenden – funktionalen Systemstrukturen und den Implementierungs- bzw. Deploymentstrukturen. Aus der funktionalen Sicht lassen sich Anforderungen an Kommunikation ableiten, während die Deploymentsicht die konkreten Kommunikationspfade bestimmt – die diese Anforderungen, insbesondere die der Echtzeit, dann erfüllen müssen. Die geforderte Flexibilität künftiger Automatisierungslösungen lassen das Interesse an modularen, funktionsorientierten Konzepten und an abstrahierten Lösungen zur Kommunikation, etwa auf Basis von Diensten, deutlich zunehmen. Es

ist erforderlich, dass sich alle Beteiligten der Wertschöpfungsketten hier einbringen und offene, standardisierte Lösungen erarbeiten.

Diese Aktivitäten müssen mit den Entwicklungen und Standardisierungsstrategien relevanter Gremien abgestimmt werden. So sieht zum Beispiel die europäische Initiative zu 5G die Einbeziehung von Vertical

Industries vor, wozu auch „Factories of the Future“ gehören. In [12] ist eine künftige Systemarchitektur vorgeschlagen (Bild 13), die ein flexibles Mapping von funktionalen Anwendungsstrukturen der Verticals auf eine allgemeine Infrastruktur ermöglichen soll. Selbstverständlich müssen hierbei QoS-Anforderungen berücksichtigt werden.

**Bild 13: Integrierte 5G-Architektur für mobile Breitbandanwendungen und vertikale Dienste [12]**



Quelle: Prof. Thilo Sauter nach [12]

Ohne Zweifel bildet die Kommunikation das Rückgrat für moderne Produktionssysteme. Aus Sicht der Anwender ist es daher angeraten, sich proaktiv mit den Entwicklungen und dem Einfluss der Kommunikation für ihr Applikationsumfeld auseinanderzusetzen und Kommunikationsstrukturen vorausschauend mit Blick auf neue Technologien aufzubauen. Neben den erwarteten Änderungen in den Systemarchitekturen und der dadurch beeinflussten Kommunikationsstruktur ist hier insbesondere der Trend von Kommunikationssystemen in eigener Verantwortung hin zu Dienstleistungen im Sinne von „Network as a Service“ zu beachten. Hierzu sind strategische Unter-

nehmensentscheidungen zu treffen und gegebenenfalls angesichts der langen Nutzzeiten in der OT rechtzeitig Migrationspfade zu entwickeln.

Die Anbieter von Kommunikationsdiensten, -komponenten, -systemen und -lösungen müssen in der Lage sein, die Beschreibung der Eigenschaften ihrer Produkte (Fähigkeitsprofile) so bereitzustellen, dass der Anwender damit mit möglichst geringem Aufwand die Erfüllbarkeit seiner Anforderungen ermitteln kann. Angesichts der steigenden Heterogenität der Kommunikation sind Auswirkungen auf die Engineering- und Managementprozesse der Netzwerke zu

erwarten. Es wird zunehmend wichtig sein, hierfür automatisierte Lösungen und Werkzeuge anbieten zu können. Die erwartete Flexibilisierung der Produktionsprozesse in Industrie 4.0 erfordert Änderungen der funktionalen Struktur dieser Systeme – und damit auch an der Deploymentstruktur und an den Kommunikationsstrukturen. Die klassische Engineeringphase fällt zeitlich zunehmend mit der Betriebsphase zusammen. Zudem wird die Änderungshäufigkeit zunehmen, auch durch das Einbringen neuer Dienste und Funktionalitäten. Angesichts der Heterogenität und Komplexität der Vernetzung werden automatische Anpassungen zur Laufzeit immer wichtiger. Dies lässt sich nur durch geeignete Softwareunterstützung des Netzwerks sinnvoll realisieren. Technologien wie TSN und vor allem SDN erlauben diese Flexibilität und die Anpassbarkeit, zum Beispiel durch Network-Controller bei SDN. Hierfür sind dann formalisierte Beschreibungen der Netzwerkeigenschaften und Selbstbeschreibungen von Komponenten und -systemen erforderlich.

Durch die Flexibilisierung der Vernetzung und die Einbeziehung von IT-Technologien ergeben sich auch neue Partner in der Wertschöpfungskette und Chancen für neue **Businessmodelle**. So werden neben den klassischen Systemintegratoren künftig spezifische IT-Dienstleister und Service-Anbieter nicht nur auf Virtualisierungskonzepten aufsetzende Compute- und Storage-Services anbieten, sondern auch Produkte zu „Infrastructure as a Service“ oder „Network as a Service“ im Portfolio haben. Die Orientierung auf Dienste und entsprechend angepasste Middleware-Lösungen erleichtern den Umgang mit der Heterogenität.

## 8 Fazit

Kommunikation ist die Grundlage für flexible, verteilte Systemstrukturen in der Automation. Die technischen Entwicklungen führen zu einer Verschmelzung von IT und OT. Dies erlaubt und erfordert neue Kommunikationstechnologien und -paradigmen in der Automation und eröffnet neue Anwendungsmöglichkeiten. Ein effizientes Mapping von funktionalen Hierarchien auf Ressourcenstrukturen (Deployment) wird künftig ein Schlüssel sein, um die geforderte Flexibilität der Produktionssysteme gewährleisten zu können. Dafür wird es immer wichtiger, die Anforderungen aus Applikationssicht genau zu kennen.

Künftige Vernetzungsstrukturen in der Automation werden komplexer und heterogener sein und angepasste Methoden und Werkzeuge benötigen, um die optimale Realisierung von Kommunikationsanforderungen aus Applikationssicht abzusichern. Dabei wird es neben technisch begründeten Entwicklungen auch organisatorische Änderungen geben, insbesondere durch neue Betreibermodelle wie „Network as a Service“.

Das vorliegende Whitepaper versucht, Anwender, Anbieter und Integratoren für diese Thematik zu sensibilisieren. Ausgehend von exemplarischen Szenarien werden technische und organisatorische Aspekte grundlegend dargestellt. Es sei nochmals betont, dass dabei nicht die Vollständigkeit der Betrachtung im Vordergrund steht, sondern prinzipielle Entwicklungen skizziert werden.

Die fortschreitende Digitalisierung und Themen wie Industrie 4.0, Cyber-Physical Systems und IoT werden einen gravierenden Einfluss auf Engineering und Betrieb von Produktionssystemen haben. Dies wird strategische Entscheidungen der Unternehmensführung – bei Anwendern wie Anbietern – erfordern. Darüber hinaus ist eine partnerschaftliche Zusammenarbeit von Anwendern, Anbietern und Systemintegratoren unabdingbar, um die enormen Nutzenpotenziale gemeinsam erschließen zu können.

# Literaturverweise

- [1] Wollschlaeger, M.; Sauter, Th.; Jasperneite, J.: The Future of Industrial Communication: Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Industry 4.0. In: IEEE Industrial Electronics Magazine 11 (2017), Nr. 1, S. 17–27
- [2] NE 107 Selbstüberwachung und Diagnose von Feldgeräten. NAMUR, 2017-04-10
- [3] Statusreport Industrie 4.0 Wertschöpfungsketten, VDI/VDE GMA, April 2014
- [4] ZVEI, Arbeitskreis Systemaspekte (Hrsg.): Life-Cycle-Management für Produkte und Systeme der Automation, 2010, ISBN-13: 978-3939265009
- [5] Rauchhaupt, L. (Hrsg.): Anforderungsprofile im ZDKI, [www.industrialradio.de](http://www.industrialradio.de)
- [6] 5G-PPP: White paper on factoriesof-the-future vertical sector. Okt. 2015. [Online]: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White-Paper-on-Factories-of-the-Future-Vertical-Sector.pdf>
- [7] ZVEI (Hrsg.): Positionspapier 5G im industriellen Einsatz. Nov. 2016
- [8] ZVEI und Plattform Industrie 4.0: Struktur der Verwaltungsschale. Berlin: Plattform Industrie 4.0, 2016.
- [9] DIN SPEC 91345: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). Beuth Verlag, 2016.
- [10] Plattform Industrie 4.0: Interaktionsmodell für Industrie 4.0-Komponenten. März 2016.
- [11] Status Report Industrie 4.0 Service Architecture. Basic concepts for interoperability. VDI/VDE GMA, Nov. 2016
- [12] 5G-PPP: 5G empowering vertical industries. Feb. 2016. [Online]: [https://5gppp.eu/wp-content/uploads/2016/02/BROCHURE\\_5PPP\\_BAT2\\_PL.pdf](https://5gppp.eu/wp-content/uploads/2016/02/BROCHURE_5PPP_BAT2_PL.pdf)
- [13] White Paper Industrial Data Space. Fraunhofer-Gesellschaft, 2016.



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-  
und Elektronikindustrie e.V.  
Lyoner Straße 9  
60528 Frankfurt am Main  
Telefon: +49 69 6302-0  
Fax: +49 69 6302-317  
E-Mail: [zvei@zvei.org](mailto:zvei@zvei.org)  
[www.zvei.org](http://www.zvei.org)