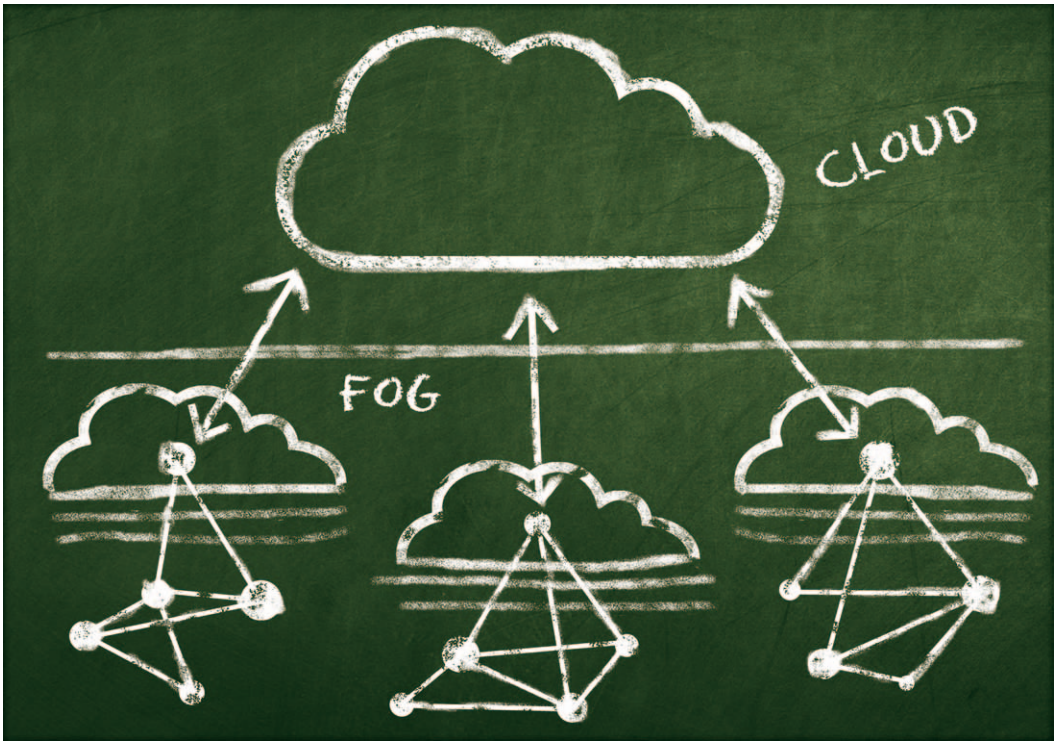
Der Datennebel unterhalb der Cloud



Die Strukturen und Konzepte in der industriellen Automatisierungswelt werden sich durch das Internet der Dinge und Industrie 4.0 völlig verändern. Allerdings werden wohl deutlich weniger Komponenten und Systeme direkt mit einer Cloud kommunizieren, als in vielen Prognosen vorhergesagt. Dafür entsteht durch das „Fog-Networking“ bzw. „Edge-Computing“ eine Sichtweise zur lokalen Integration unzähliger Datenpunkte.

Echtzeitfähige Datenanalysen?

Zeitweise sah es ja so aus, als wäre in Zukunft jedes „Thing“ im Internet of Things (IoT) mit einer Internet-basierten Private/Public/Hybrid-Cloud verbunden. Die Kommunikationsverbindung zwischen Thing und Cloud kann relativ einfach und kostengünstig direkt (z. B. per LAN, Wi-Fi bzw. 2G/3G/4G) oder indirekt über ein zwischengeschaltetes IoT-Gateway erfolgen. Die gesamte Datenspeicherung, Datenverarbeitung und Informationsgewinnung sollte – zumindest aus Sicht der Anbieter entsprechender Plattformen – in der Cloud erfolgen. Sogar „echtzeitfähige“ Datenanalysen (Predictive Analytics) werden inzwischen als Cloud-

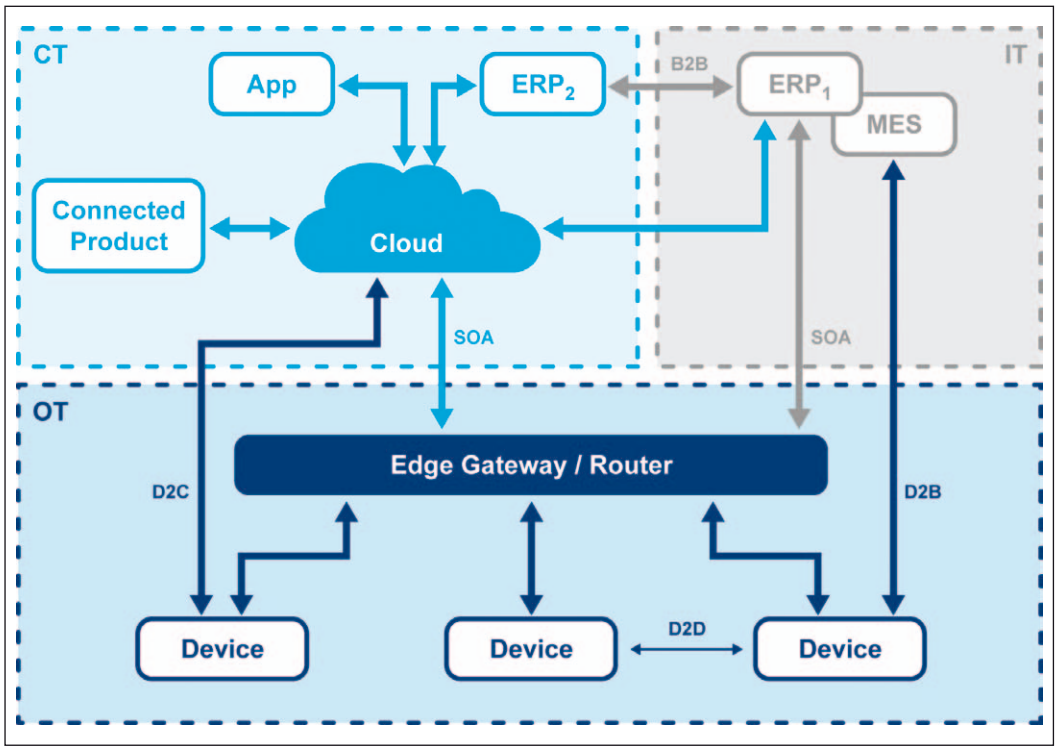


Bild 1: Die Kommunikationsbeziehungen einer IIoT- bzw. Industrie-4.0-basierten Smart Factory orientieren sich nicht mehr an einer hierarchisch organisierten Pyramidenstruktur. Die einzelnen Systeme sind zukünftig vielmehr in unterschiedlichen Kommunikations-Domains zusammengefasst. Zwischen den Domains existieren verschiedene Verbindungen. Die gesamte Automatisierungstechnik ist in Zukunft in der OT-Domain zu finden. ERP und MES befinden sich in der IT- , externe Systeme in der CT-Domain

Autor:

Klaus-Dieter Walter, CEO für die SSV Software Systems GmbH

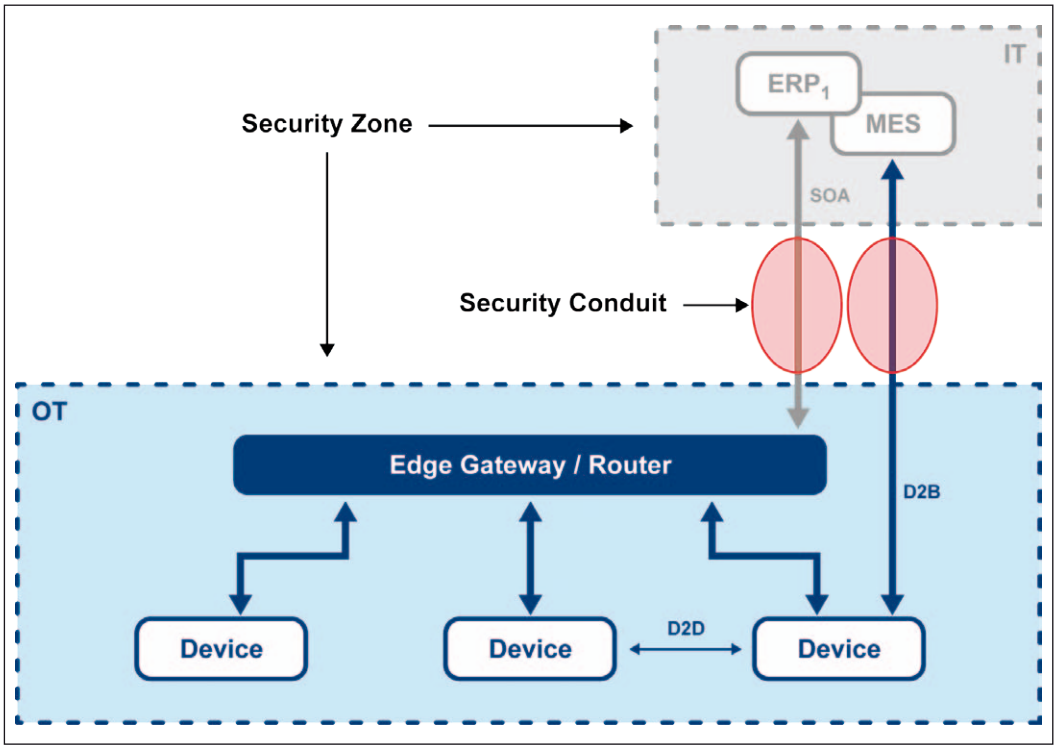


Bild 2: Zur Sicherung der Kommunikations-Domains lässt sich die Security-Norm IEC 62443 „Industrielle Kommunikationsnetzte – IT-Sicherheit für Netze und Systeme“ anwenden. Baugruppen und Systeme mit identischen Sicherheitsanforderungen werden dann in Zonen zusammengefasst. Die Kommunikationsverbindungen zwischen den einzelnen Zonen erfolgen über „Security Conduits“

Service angeboten. Über Cloud- und IoT-Plattformen stehen auch entsprechende Serviceschnittstellen zur Datennutzung durch andere Anwendungen, wie beispielsweise Smartphone-Apps und MES/ERP, zur Verfügung.

Condition Monitoring

Inzwischen wird deutlich, dass dieses Konzept aus unterschiedlichen Gründen in vielen Anwendungsbereichen so nicht funktionieren wird. Weder selbstfahrende Autos, noch die Fertigungszellen einer Smart Factory werden zur vertikalen und horizontalen Vernetzung bzw. zur autonomen Entscheidungsfindung ausschließlich auf die Cloud setzen können. Noch nicht einmal eine einfache Zustandsüberwachung (Condition Monitoring) wird mittels Cloud-basierter Entscheidungsfindung ausreichend zuverlässig arbeiten und die Anforderungen der Anwender vollumfänglich erfüllen können.

Fog- bzw. Edge-Computing

Im Industrial Internet of Things (IIoT), aber auch im Industrie-4.0-Umfeld erkennt man schon den veränderten Lösungsansatz: Zwischen Feldebene und Cloud entsteht unter dem Oberbegriff Fog- bzw. Edge-Computing (auch Fog-Networking genannt) eine serviceorientierte Zwischenschicht. Sie könnte sogar die gesamte Feldebene einer Smart Factory vollständig absorbieren. Das Ziel dabei ist, einzelne Systeme am Rand zur Cloud (at the edge), also im unmittelbaren Umfeld (Nebel = Fog), intelligenter zu machen, mit speziellen Fähigkeiten auszustatten und Sonderaufgaben ausführen zu lassen. Dadurch können die „Things im Nebel“ direkt oder über ein Edge-Gateway untereinander kommunizieren.

Mobil Edge Computing

Automobilhersteller testen zusammen mit Mobilfunknetzbetreibern bereits Cloudlet-Konzepte (Mobil Edge Computing) für autonome Fahrzeuge. Dabei kommunizieren Fahrzeuge und Verkehrsschilder über die Funkzellen-Hardware als Edge-Gateway direkt miteinander, ohne dass die einzelnen Datenpakete über eine Cloud ins Internet gelei-

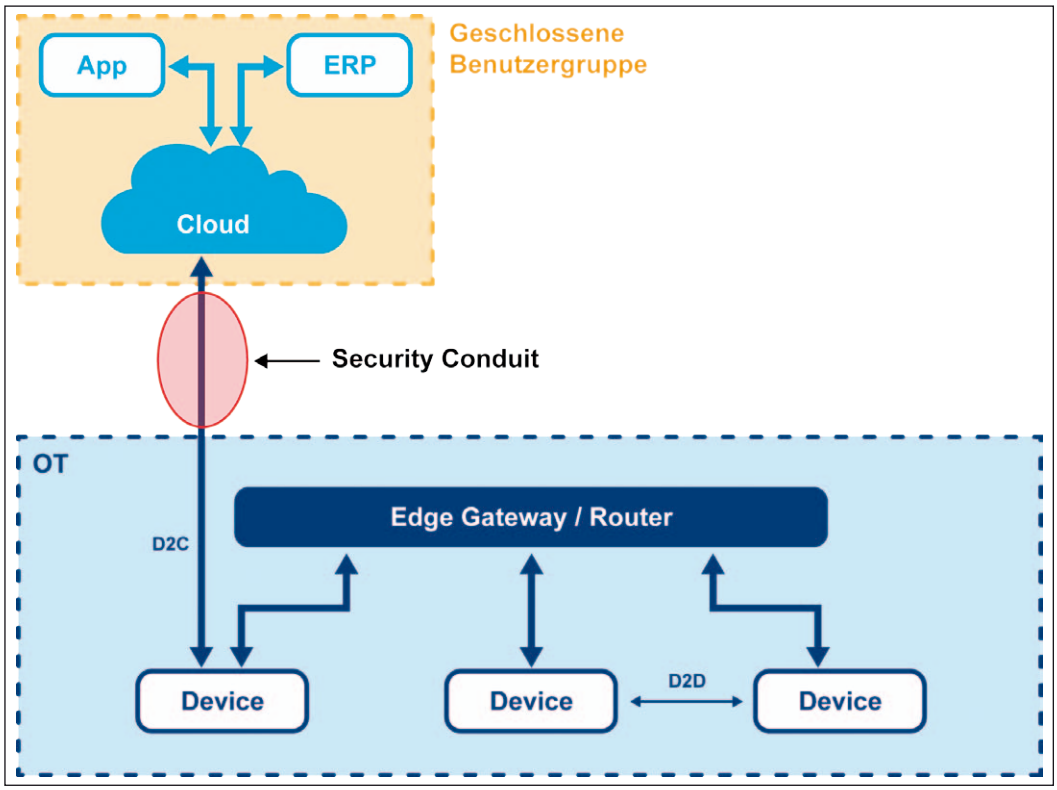


Bild 3: Die direkte Verbindung eines Devices in die Cloud wird in der Regel mit Hilfe einer Wide Area Wireless-Technik, z. B. 2G/3G/4G-Mobilfunk, erfolgen. Ein solcher Link lässt sich relativ einfach sichern. Zum einen darf die Verbindung immer nur vom Device ausgehen (Device-2-Cloud), das Device selbst aber keine vom Internet aus direkt erreichbare IP-Adresse haben. Zum anderen lassen sich die Devices mit Hilfe spezieller SIM-Karten in einer geschlossenen Benutzergruppe betreiben, die gegenüber dem Internet vollständig isoliert ist

tet werden. Mit IBM hat sogar ein erster führender IoT-Cloud-Anbieter einen Strategiewechsel vollzogen: Seit einigen Wochen werden die Watson-Analytics-Funktionen nicht mehr nur in der Wolke, sondern auch im Cisco-Edge-Router angeboten.

OpenFog Consortium

In den USA wurde mit dem OpenFog Consortium inzwischen schon ein Verband gegründet, der sich diesem speziellen Thema widmet. Die Gründungsmitglieder ARM, Cisco, Dell, Intel, Microsoft und die Princeton University wollen „Fog-Technologie" zusammen weiterentwickeln und im Markt verbreiten. Dabei werden sie inzwischen auch von GE und Schneider Electric und zahlreichen weiteren Unternehmen und Organisationen unterstützt.

Vielfalt statt hierarchischer Kommunikation

Die gegenwärtigen Kommunikationsstrukturen im industriellen Umfeld lassen sich im Allgemeinen durch eine hierarchische Pyramidenstruktur beschreiben. Ganz unten die Feldebene, darüber eine Steuerungsebene und als Krönung des Ganzen in der Regel mehrere Leitebenen mit unterschiedlichen Aufgaben. In dieser Pyramide existieren jeweils ein Bottom-Up-Datenfluss und ein Top-Down-Informationsfluss. Die Datenerfassung beginnt in der untersten Ebene, die Informationsgewinnung erfolgt zentralistisch in den höheren Schichten. Anweisungen werden somit von oben nach unten kommuniziert. Da hätte es funktional sehr gut ins Bild gepasst, oben auf die Pyramide einfach noch eine Cloud-Anbindung draufzusetzen und in der „Wolke" z. B. Predictive Analytics-Entscheidungen zu fällen, Intralogistikprozesse zu steuern usw. Das gesamte Datensilo „Automatisierungspyramide" wäre dann sogar noch fernsteuerbar.

Automatisierungslösungen

IIoT- bzw. Industrie-4.0-basierte Automatisierungslösungen werden mittelfristig aber dafür sorgen, dass die hierarchische Kommunikationspyramide komplett verschwinden wird. Das dreidimensionale Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) lässt sich definitiv nicht mit der vorhandenen Pyramidenstruktur umsetzen. Einfach alle Pyramiden per Cloud miteinander zu verbinden, hilft allerdings auch nicht weiter. Es werden vielmehr Anwendungsarchitekturen mit einzelnen Kommunikations-Domains entstehen, in denen auch weitreichende autonome Entscheidungen getroffen werden.

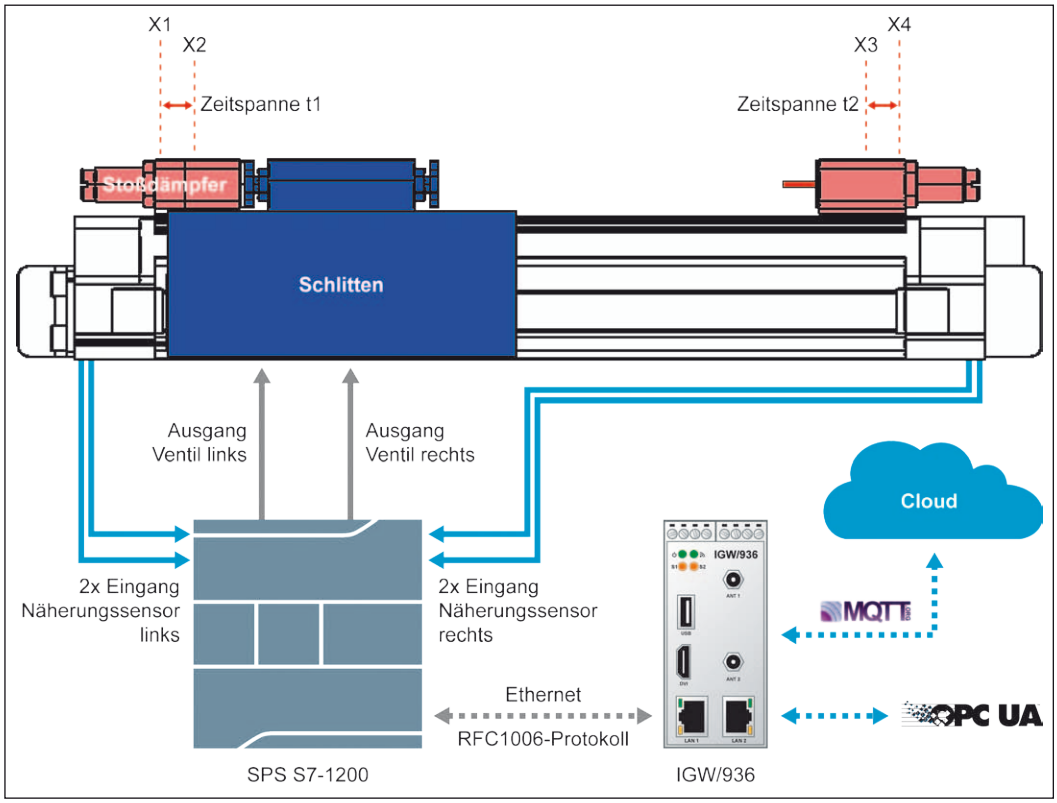


Bild 4: Ein mögliches „Connected Product" in einer zukünftigen I4.0-Smart Factory, z. B. ein pneumatisches Subsystem zum Materialtransport in einer Fertigungszelle mit Führungszylinder und Druckluft-bewegten Schlitten, hätte gleichzeitig sowohl eine CT- als auch eine IT-Verbindung. Diese mechatronische Baugruppe würde für das Cloud-basierte Condition Monitoring des Herstellers und dem darauf aufbauenden Service- und Wartungskonzept permanent Daten an eine Cloud liefern. Diese OT/CT-Verbindung erfolgt per MQTT-Pub/Sub über das LTE-Mobilfunknetz. Zusätzlich erfolgt eine Echtzeit-Zustandsdatenanalyse direkt vor Ort. Der Zugriff auf die Ergebnisse ist per Ethernet-LAN und OPC UA direkt aus der IT-Domain heraus möglich

Kommunikations-Domains ersetzen Pyramiden

Bild 1 illustriert ein Beispiel mit den zukünftigen Kommunikationsbeziehungen einer IIoT- bzw. Industrie-4.0-basierten Smart Factory. Die gesamte Automatisierungstechnik (Sensoren, Aktoren, Steuerungen usw.) ist in einer OT-Domain (OT = Operational Technology) zusammengefasst. In dieser Ebene gibt es verschiedene kommunikative Querverbindungen (D2D = Device-to-Device), z. B. OPC UA Pub/Sub per MQTT oder IEEE TSN bzw. RFC 1006 bei älteren Steuerungen. Die zu einer Smart Factory gehörende MES- und ERP-Software ist in der IT-Domain (IT = Information Technology) zu finden.

Wertschöpfungskette

Alle aus der Smart Factory-Sicht externen Komponenten und Systeme sind Bestandteile einer CT-Domain (CT = Cloud Technology). Hier findet man die Partner-ERP-Systeme einer bestimmten Wertschöpfungskette, Smartphone-Apps usw., aber auch in der Smart Factory hergestellte Produkte (siehe „Connected Product" in der CT-Domain von Bild 1), die von Anwendern irgendwo auf der Welt genutzt werden. Sie liefern nun per Internet laufend Betriebs- und Zustandsdaten an das ERP-System des Smart Factory-Betreibers. Mit Hilfe dieser Daten lassen sich den Produktnutzern zusätzliche Services (sogenannte Smart Services, wie z. B. Opex-basierte Angebote und Wartungsverträge für eine vorausschauende Instandhaltung) anbieten sowie das betreffende Produkt auf Basis echter Nutzerdaten weiterentwickeln. Dazu müssen die Daten an Produktmarketing und Entwicklung weitergeleitet werden.

Zwischen den einzelnen Domains existieren zahlreiche Verbindungen. So sind einzelne Devices per D2B (Device-to-Business) bzw. D2C (Device-to-Cloud) direkt mit MES-, ERP- und Cloud-Anwendungen verbunden. Die ERP-Systeme zweier Unternehmen, die als Wertschöpfungskettenpartner zusammenarbeiten, sind in Zukunft per B2B-Datenverbindung (B2B = Business-to-Business) miteinander gekoppelt usw.

Edge-Gateways: Bindeglied mit Sonderaufgaben

Aus Sicht des bereits angesprochenen OpenFog Consortiums bildet praktisch die gesamte OT-Domain einer Smart Factory den „Fog", also den Low-Level-Datennebel. Eine wichtige Rolle in diesem neuen Leitbild spielt die Baugruppe an der Grenze zwischen OT- und IT- bzw. CT-Domain (siehe Bild 1). Diesem als Edge-Gateway oder auch Edge-Router bezeichneten

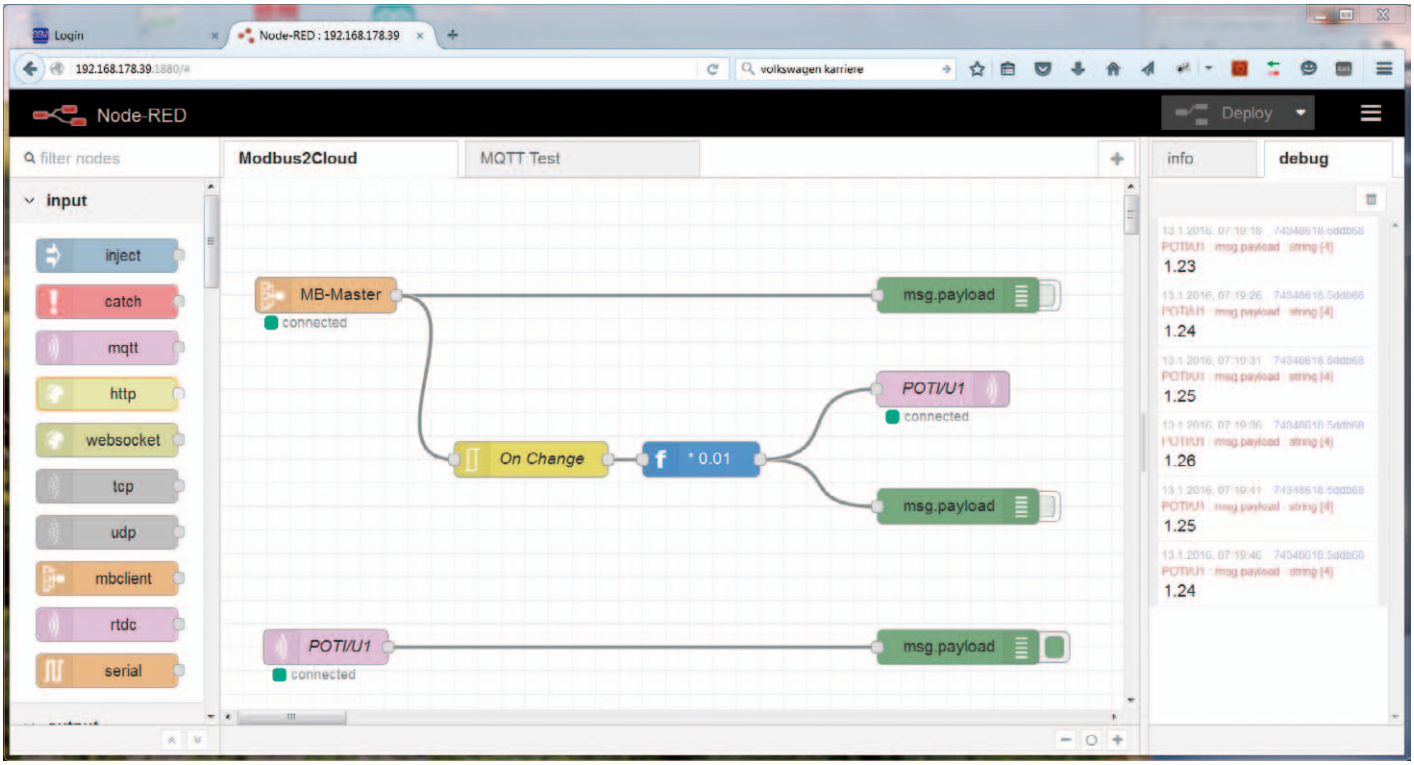


Bild 5: Für die Anpassung der Kommunikationsbeziehungen an die jeweiligen Anforderungen einer Umgebung (z.B. an die Protokolle und Datenformate) benötigt sowohl ein Edge-Gateway als auch jedes OT-System mit Schnittstellen zu einer anderen Domain eine benutzerfreundliche und flexible Konfigurationsschnittstelle

System kommen bisher nicht vorhandene Sonderaufgaben zu. Dazu einige Beispiele:

Sensordatenintegration

In einer OT-Domain wird es sehr viele Sensoren geben. Einige davon sind direkt an Steuerungen angebunden, um Ist-Werte an eine SPS-Software zu liefern. Andere dienen ausschließlich zur Maschinen- und Prozessüberwachung, bzw. um ein möglichst vollständiges Prozessdatenabbild zu schaffen. Ein Edge-Gateway bildet das Bindeglied zwischen den Sensordaten und den Datennutzern. Zum Speichern der Sensordaten benötigt ein Edge-Gateway eine geeignete Datenbank für unstrukturierte Daten (in der Regel eine sogenannte NoSQL-Datenbank, z. B. MongoDB) mit geeigneten Schnittstellen, um anderen Systemen den Zugriff auf diese Daten zu ermöglichen.

Vor-Ort-Analytics

Die in der Feldebene – also im „Fog“ – gewonnen Daten können mit Hilfe mathematischer Vorhersagemodelle direkt einer Datenanalyse unterzogen werden, um zum Beispiel automatisch Wartungstermine für einzelne mechatronische Baugruppen, Maschinen und Anlagen zu bestimmen. Der Zugriff auf diese Daten durch ERP und MES ist z. B. per OPC UA möglich. Auch das Eintragen der Instandhaltungstermine und Ersatzteilbestellungen können vom Edge-Gateway aus mit

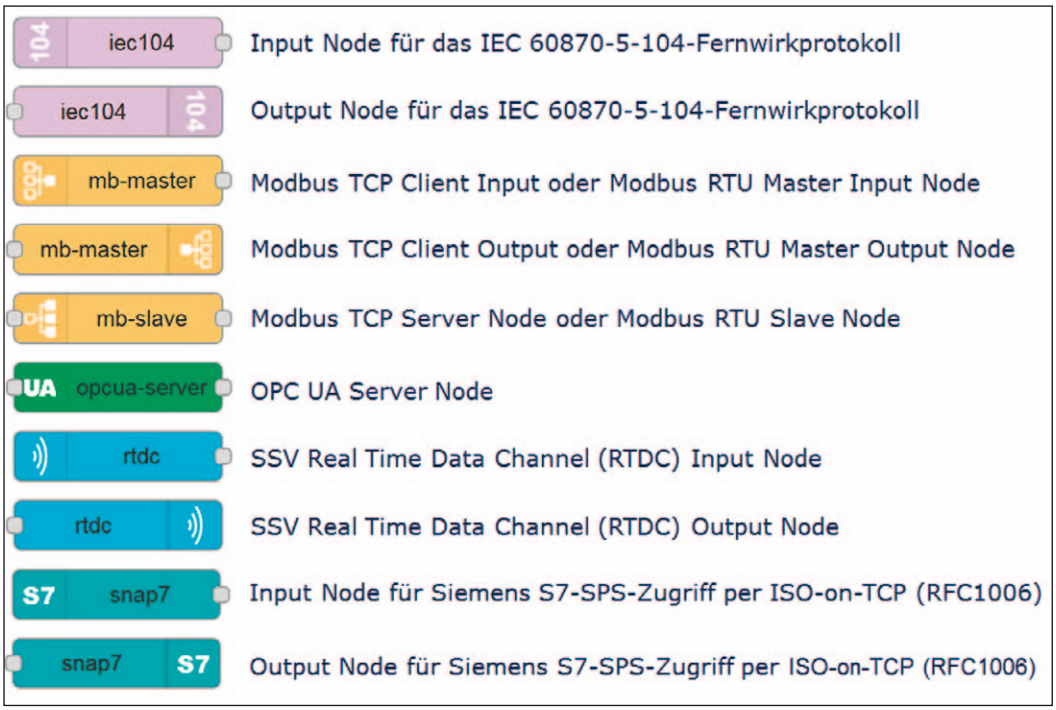


Bild 6: Die Node-RED-Implementierung eines Edge Gateways für die OT-Domain bietet in der Regel die wichtigsten Protokollfunktionen als vorinstallierte Input Nodes und Output Nodes. So stehen beispielsweise OPC UA Server- und Client-Funktionen, Kommunikationsverbindungen zu S7-Steuerungen und Modbus-basierten Feldgeräten sowie verschiedene Cloud-Funktionen zur Verfügung

Abkürzung	Bedeutung	Beschreibung/Anwendungsbeispiel
B2B	Business-to-Business	Verbindung zwischen den ERP-Systemen der Unternehmen einer Wertschöpfungskette, um z. B. Intralogistik- und andere anfallende Aufgaben zu erledigen.
D2B	Device-to-Business	Zum Beispiel eine direkte Datenverbindung zwischen einer Steuerung und einem ERP-System, um Rezepturen direkt auf dem ERP-System heraus an die Steuerung zu übergeben.
D2C	Device-to-Cloud	Direkte Verbindung zwischen einer Baugruppe im „Fog“ und der Cloud. Beispielsweise ein spezieller Condition Monitoring-Sensor, der mit einem Maintenance-Softwareservice in der Cloud kommuniziert.
D2D	Device-to-Device	Publish/Subscribe-Verbindungen zwischen zwei Steuerungen (Controller-to-Controller) oder zwischen Sensoren und Aktoren, um die Bearbeitung bestimmter Aufgaben zu synchronisieren.
SOA	Serviceorientierte Architektur	Kommunikation zwischen einem SOA-Dienstanbieter und dem SOA-Dienstnutzer. Beispiel: Orchestrierung der Steuerungen einer Fertigungszelle, die als Verbund über eine SOA-Schnittstelle ansprechbar sind.

Tabelle 1: Zwischen den Systemen und Komponenten der einzelnen Kommunikations-Domains einer zukünftigen Smart Factory existieren verschiedene Datenverbindungen, die sich in bestimmte Klassen zusammenfassen lassen

Hilfe entsprechender SOA-Schnittstellen erfolgen.

Vertikale Integration

Maschinen sind in der zukünftigen Smart Factory nahezu direkt mit einer ERP-Software verbunden. Die dazwischengeschaltete Leitrechner- und MES-Softwareebene entfällt dann. Eine SPS meldet Produktionsrückmeldungen direkt ans ERP bzw. erhält von diesem Stücklisten, Rezepturen und Arbeitspläne.

Cloud-Verbindung

Die Kommunikation zwischen OT- und CT-Domain sollte im Idealfall ausschließlich über das Edge-Gateway erfolgen. Dadurch kann nicht nur ein preiswerter Funksensor im OT-Umfeld (z. B. ein Wireless-MBus-Zähler) anspruchsvolle Cloud-Schnittstellen (beispielsweise ein HTTPS-basiertes REST-Interface mit XML-Datenstrukturen) in der CT-Welt bedienen. Es lassen sich über die vielfältigen Möglichkeiten eines Edge-Gateways auch IT-Security-Anforderungen wirkungsvoll und einfach umsetzen.

In Zusammenhang mit der vertikalen Integration kann ein Edge-Gateway z. B. auch die Aufgaben einer SOA-PLC übernehmen. Die durch Industrie 4.0 zu erwartenden konzeptionellen Veränderungen werden mit der gegenwärtigen Technik zu einigen größeren Herausforderungen führen. Besonderer Handlungsbedarf besteht bei den Steuerungen und die Art und Weise, wie einzelne SPS-Systeme einer Anlage bzw. Fertigungszelle programmiert und in die Lage versetzt werden, untereinander und mit einer übergeordneten Leittechnik zu kommunizieren (SPS-Orchestrierung in einer Fertigungszelle). Die dabei gegenwärtig zum Einsatz kommende Methodik ist völlig veraltet und für die in Bild 1 dargestellten Kommunikationsbeziehungen eigentlich nicht mehr geeignet.

Wired oder Wireless

Einige Datenverbindungen zwischen den einzelnen Kommunikations-Domains werden drahtgebunden (Wired), andere mittels drahtloser Schnittstellen (Wireless) – also mit Hilfe unterschiedlicher Funktechnologien – erfolgen.

OT/IT:

Für die Kommunikation zwischen den OT-Systemen und der IT-Domain wird man sowohl heute als auch in Zukunft Ethernet-LAN-basierte Verbindungswege nutzen. Die dafür erforderlichen Netzwerkstandards existieren zum Teil seit Jahrzehnten und werden in der Praxis genutzt. Lediglich bei der Übertragungsgeschwindigkeit (100M/1G/10G/100G usw.) sind Veränderungen zu erwarten. In Ausnahmefällen kann eine OT-IT-Verbindung auch per WLAN erfolgen. Problematisch ist und bleibt die indirekte Internetverbindung einer Systembaugruppe aus der OT-Domain über die Internetzugänge der IT-Domain. Das liegt zum einen an den Protokollen, die in OT-Systemen zum Einsatz kommen und kommen werden (z. B. Datenübertragung mit Pub/Sub-Protokollen, wie MQTT), aber auch an Sicherheitsanforderungen, für die in der Regel in der IT-Welt spezielle Mitarbeiter mit weitreichenden Entscheidungskompetenzen zuständig sind. Ein „Connected Product“ aus der OT-Welt wird in der Praxis keine Gelegenheit haben, über eine Internetverbindung der IT-Welt aktuelle Zustands- und Nutzungsdaten an seinen Hersteller zu liefern.

OT/CT:

Hier ist eigentlich in den meisten Fällen eine Wireless-Verbindung zu erwarten. Für wenige Anwendungsfälle ist es denkbar, dass z. B. ein Edge-Gateway bzw. Router aus der OT-Domain heraus eine direkte drahtgebundene Verbindung ins Internet unterhält. Für die Zukunft muss man allerdings davon ausgehen, dass immer mehr OT-Systeme für den Einsatz in einer Smart Factory mit einer werksseitig eingebauten und vorkonfigurierten Wireless-Schnittstelle ausgeliefert werden und bereits bei der Inbetriebnahme völlig automatisch eine Cloud-Verbindung zu einem Service des Herstellers aufbauen. Dafür würde heute schon das 2G/3G/4G-Mobilfunknetz und eine vorinstallierte SIM-Karte, bzw. ein aufgelöteter SIM-Chip ausreichen. Gegenwärtig gibt es aber noch einige Probleme: Zum einen sind die Kosten für IP-Kommunikation in Mobilfunknetzen immer noch recht hoch. Zum anderen ist die Netzabdeckung außerhalb von Ballungszentren unzureichend. Des Weiteren ist innerhalb von Gebäuden – zum Beispiel in einem Keller oder einer Fabrikhalle mit dickem Mauerwerk – die Netzqualität verbesserungswürdig. Durch neue Funkstandards (LTE-M, NB-IoT, LoRa usw.) werden sich diese Probleme aber in den nächsten Jahren lösen lassen.

■ *SSV Software Systems GmbH*
www.ssv-embedded.de

Folgende Themen finden Sie im nächsten Heft:

Funken im (I)IoT

1. Was ist LPWA?
2. Welche Funkstandards sind in den lizenzpflichtigen Bändern zu erwarten (LTE-M, NB-IoT und Co.)?
3. Welche Funkstandards sind in den lizenzfreien Bändern zu erwarten (LoRa und Co.)?

Wichtige Kommunikationsstandards aus der M2M- und IoT-Welt

Welche M2M- und IoT-Standards haben für I4.0 eine Relevanz?

Statistische Angaben (1. – 8.)