

Echtzeit überall
Netze, Systeme, Anwendungen



Support & Managed Service für
Open-Source-Umgebungen
Docker · OpenStack · Kubernetes



www.b1-systems.de ROCKOLDING · BERLIN · KÖLN · DRESDEN Mehr dazu im Heft!

2018

SPECIAL

Prozesse, Programmierung, Technik für die Industrie 4.0:

Internet of Things

IT in neuen Gefilden

Nach der Cloud:

Edge und Fog Computing

Mehr als Prototyping:

3D-Druck für Losgröße eins

Messaging im IoT:

MQTT-Version 5

Protokoll-Stack für Java

M2M-Kommunikation mit OPC UA:

Maschinen als Objekte

Die richtige Security Policy

Neue Geschäftsmodelle:

Produktion transformieren

Datenbasierte Dienstleistungen entwickeln

Mehr aus Daten machen:

Machine Learning in der Produktion

IOTA

Kryptowährung für Maschinen



Roboter programmieren
Vormachen, 6D-Maus oder Skript

DIGITALISIERUNG GANZ KONKRET: PROZESSE, DIE OPTIMIERT SIND.



DIGITALISIEREN SIE IHR GESCHÄFT IM INTERNET DER DINGE MIT DER TELEKOM.

Mit dem Industrial Machine Monitoring Paket haben Unternehmen ihre Produktion und Maschinendaten jederzeit im Blick. Abläufe können effizienter gestaltet, Wartungskosten reduziert und Ausfälle vermieden werden. Wann starten Sie ins Internet der Dinge? [IoT.telekom.com](https://www.10t.telekom.com)



ERLEBEN, WAS VERBINDET.

Vor neuen Aufgaben

Geht es um Industrie 4.0, ist gern die Rede von sogenannten intelligenten, digital vernetzten Systemen und einer selbstorganisierten Produktion, in der Menschen, Maschinen und Produkte miteinander kommunizieren und kooperieren. Da könnte man leicht an implantierte Chips und ähnliche Science-Fiction-Szenarien denken. Doch derzeit geht der Trend im, wie es im angelsächsischen Raum gern heißt, Industrial Internet of Things oder IIoT in genau die entgegengesetzte Richtung: Maschinen steuern sich gegenseitig, Transportgüter melden über funkende Einwegchips ihren Standort und Roboter lernen, mit Menschen Hand in Hand zu arbeiten und dabei auf menschliche Worte oder Bewegungen zu reagieren.

Dennoch bleibt das nicht ohne Auswirkungen auf den Menschen. Nicht nur auf den Kunden, der – so die verträumten Versprechungen der Industrie heute – sich seinen Turnschuh künftig passgenau direkt im Laden drucken lässt. Vor allem die Berufstätigen in Industrie, Logistik, Zulieferung und Dienstleistung werden in den nächsten Jahren und Jahrzehnten eine tief greifende Veränderung ihrer Umgebung erleben.

Viele Aufgabenfelder und Berufsbilder werden sich verändern, einige verschwinden, andere sich einander annähern. Und wie immer, wenn Arbeitsbereiche zusammentreffen, darf ein Begriff nicht fehlen: Interdisziplinarität. Das meint aber nicht nur, dass sich unterschiedliche Fachbereiche und Gewerke in Forschungsprojekten treffen.

Sondern: Ingenieure müssen sich mit für sie neuen Techniken und Prozessen auseinandersetzen. Den IT-Profis eröffnen sich dagegen neue Betätigungsfelder, in denen ihr Wissen und ihre Erfahrung gefragt sind. Denn mit der Industrie 4.0 ziehen

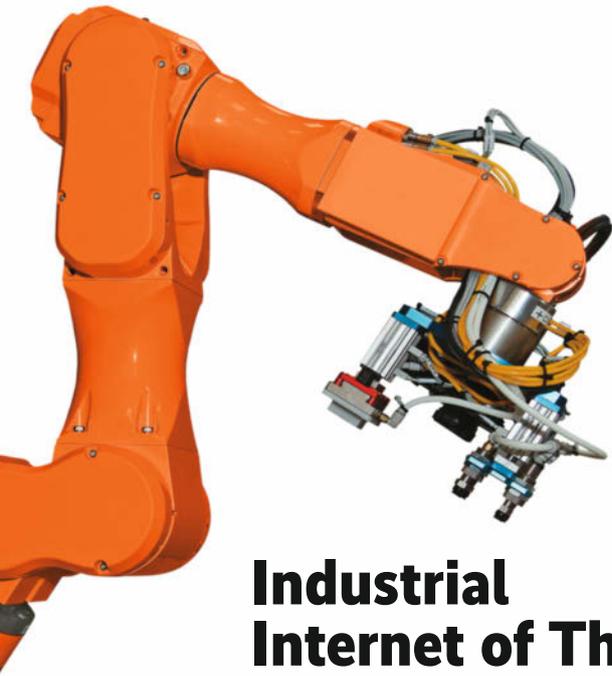
Software, Hardware, Vernetzung, Sicherheitstechniken und -konzepte in die Produktions- und Lieferketten ein und mit ihnen Massen von Daten, die es zu bewegen, zu speichern und zu verarbeiten gilt.

Hüten sollten sich IT-Profis aber, wenn sie etwa ihren Arbeitsschwerpunkt in die Industrie verlegen, vor dem Glauben, mit ihrem bisherigen Wissen voll gerüstet zu sein. Denn vieles in der industriellen IT ist anders als in der klassischen, Business- oder Office-IT. Ein paar Beispiele: Generische Systeme wie Wintel-Rechner, die je nach installierter Anwendung fast beliebigen Zwecken dienen können, sucht man unter den Prozessrechnern vergebens. Software, die mit Ressourcen aas, ließe sich nicht einmal auf den Zielsystemen installieren. Eine Vernetzung, die in Rechenzentren als Standard gilt, würde in der Fabrikhalle weder lange funktionieren noch den Anforderungen etwa an die Laufzeit der Daten genügen. Und Sicherheitsmaßnahmen wie Virens Scanner und Personal Firewalls eignen sich überhaupt nicht für industrielle Netze und Systeme.

Es gibt also viel zu lernen, zu entdecken, aber auch zu entwickeln und zu experimentieren. Wer einst in die IT einstieg, weil ihn das Neue und das In-Bewegung-Sein reizte, ist hier genau richtig.

SUSANNE NOLTE





Industrial Internet of Things

In der Industrie bricht mit dem IoT ein neues Zeitalter an. Nicht zuletzt deshalb stellt die Industrie 4.0 die höchsten Anforderungen an die neuen Techniken und ihre Implementierungen. Und sie verlangt Maßarbeit. Übertragbare IIoT-Architekturen existieren nur rudimentär, fertige Schablonen gar nicht. Generisch sind nur noch die Plattformen, mit denen man seine Komponenten konfektioniert.

ab Seite 8

Wer redet hier mit wem?

Was wäre ein Netz ohne Vernetzungstechnik? Im IIoT gibt es davon reichlich, von industriellen Ethernet-Abwandlungen bis zu neuen Funktechniken und selbstredend eigenen Upper-Level-Protokollen für die Steuerung von Anlagen und den Datenaustausch zwischen den Maschinen.

Seite 92 bis 128



Anders als die Business-IT

Begriffsklärung	
Die Idee hinter Industrie 4.0: Mehr als Technik	8
IoT-Design	
Architekturen und Entwurfsregeln im IIoT	12
Digitalisierung	
Management im Zeitalter der digitalen Transformation	18
Security	
Sicherheit in der Industrie 4.0	26
Marktentwicklung	
Zum Stand der IIoT-Umsetzung in Deutschland	30

Daten in Bewegung

Geschäftsmodelle	
Industrie 4.0 umsetzen	36
Software-Design	
Sechs Prinzipien für die Entwicklung datenbasierter Dienstleistungen	40

Datenanalyse

Machine Learning in der Industrie	48
-----------------------------------	----

M2M

Hyperledger für Maschinen: Die Technik rund um IOTA	52
--	----

Entwickeln für das IIoT

Robotik	
Roboter programmieren	60
C-Programmierung	
Ins Internet der Dinge mit C und C++	68
Java	
Open-Source-Java-APIs für die Entwicklung von IoT-Applikationen	76
IIoT-Connectivity mit einem Java-MQTT-Stack	82
Programmierung	
Sprachen für das polyglotte IIoT	86



Entwickeln unter anderen Bedingungen

Programmieren fürs IIoT heißt Maßschneidern. Denn auch die Systeme sind genau auf ihre Aufgaben zugeschnitten. Vor allem aber sind ihre Ressourcen knapp bemessen. Auch daran muss sich die Wahl der Sprachen und der Werkzeuge orientieren.

Seite 60 bis 90
und ab Seite 130



Mit Sicherheit anders

Der konzeptlose Wildwuchs, der den Übergang der EDV zur IT begleitete, brachte eine ganze Branche in die Zwickmühle des „Security last“. Beim Umbau der Industrie Richtung 4.0 ist das anders. Wer nicht auf „Security first“ setzt, riskiert seine Existenzgrundlage.

Seite 26, 118 und 126

Ohne Netze funktioniert gar nichts

Verkabelung	
Industrienetze zwischen Feldbus und Industrial Ethernet	92
Funktechniken	
Low Power Wide Area Networks fürs IIoT	96
Dezentralisierung	
Edge und Fog Computing: Raus aus der Cloud, rein ins Geschehen	102
Protokolle	
Deterministische Machine-to-Machine-Kommunikation in der Industrie 4.0	106
Interoperabilität	
OPC UA ist mehr als ein Protokoll	114
Sicherheit	
Best Practices OPC UA Security	118
M2M-Protokolle	
MQTT-Version 5	122
Kommunikationssicherung	
MQTT sicher einsetzen	126

Rechner nach Maß

Betriebssysteme	
Das Linux-Ökosystem fürs IIoT	130
Kiosk-Systeme	
Windows 10 IoT für Embedded-Anwendungen	134
Real-Time	
Echtzeitbetriebssysteme für die Industrie	138
Produktion	
3D-Druck: Prototyping, Ersatzteile und Losgröße eins	144
Einplatinencomputer	
Embedded-Prozessrechner im Überblick	150
Sonstiges	
Editorial	3
Inserentenverzeichnis	154
Impressum	154

WIR TRINKEN DEN KAFFEE #000000.

iX. WIR VERSTEHEN UNS.

3 x als Heft



Jetzt Mini-Abo testen:

3 Hefte + iX-Kaffeetasse nur 14,70 €

www.iX.de/test



Sie mögen Ihren Kaffee wie Ihr IT-Magazin: stark, gehaltvoll und schwarz auf weiß!
Die iX liefert Ihnen die Informationen, die Sie brauchen: fundiert, praxisnah und unabhängig.
Testen Sie 3 Ausgaben iX im Mini-Abo + iX-Kaffeetasse für 14,70 Euro und erfahren Sie, wie es ist,
der Entwicklung einen Schritt voraus zu sein.

Bestellen Sie online oder telefonisch unter +49 (0)541 800 09 120.



Einleitung: Anders als die Business-IT

Noch scheinen es zwei getrennte Welten: Auf der einen Seite die IT, in der sich alles um Informationen und die Kontrolle des Datenflusses dreht, auf der anderen die Industrie, der Hort der materiellen Produktion. Doch nun wachsen sie zusammen. Das Industrial Internet of Things wird der industriellen Produktion ein neues Gesicht verleihen. Und Rückwirkungen auf die klassische IT haben.

Die Idee hinter Industrie 4.0: Mehr als Technik	8
Architekturen und Entwurfsregeln im IIoT	12
Management im Zeitalter der digitalen Transformation	18
Sicherheit in der Industrie 4.0	26
Zum Stand der IIoT-Umsetzung in Deutschland	30

Die Idee hinter Industrie 4.0: Mehr als Technik

Neu verbunden

Rainer Drath



Industrie 4.0 verspricht enorme Produktivitätssteigerungen, löst bei Anlagenbetreibern jedoch nachvollziehbare Sorgen aus. Dieser Beitrag erläutert, warum Industrie 4.0 nicht so leicht fassbar ist, häufig missverstanden wird und warum sie trotzdem kommen wird. Der Autor nähert sich anschaulich dem technischen Kern und den Kernanforderungen der Anlagenbetreiber. Dieser Artikel richtet sich an Innovatoren und Skeptiker gleichermaßen.

Der Begriff Industrie 4.0 [1] polarisiert. Erstmals wurde er auf der Hannover Messe 2011 verwendet, er kündigt die vierte industrielle Revolution an. Auch in der Politik wird der Begriff vielfach verwendet, wenn es um die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie geht. Dennoch ist nicht immer klar, worum es bei Industrie 4.0 wirklich geht. Die Bedeutung von Industrie 4.0 wird am ehesten anhand der Organisation deutlich: So haben sich die Trägerverbände VDMA [2], ZVEI [3] und Bitkom [4] des Themas angenommen, deren Aktivitäten von einem gemeinsamen Lenkungskreis (Plattform Industrie 4.0 [5]) koordiniert und vernetzt werden.

Dennoch wird die Idee hinter Industrie 4.0 in der breiten Öffentlichkeit kaum verstanden und hat seitdem vielerorts für teils kontroverse Diskussionen gesorgt. Zur Verwirrung hat eine ganze Reihe unterschiedlicher Definitionen beigetragen. Diese sind oft gut gemeint, bewirken aber zum Teil das Gegenteil eines gemeinsamen Verständnisses. Technologiebasis und Vision hinter Industrie 4.0 werden häufig vermischt. Übereifriges Marketing einiger Firmen verstärkt noch die Verwirrung („Industrie 4.0 machen wir schon“) und verbirgt die tatsächliche und tragfähige Idee hinter Industrie 4.0. Eine kaum übersehbare Anzahl von Meinungen und Interpretationen verstellt dem Interessierten den Blick auf den Kern und das, was Industrie 4.0 wirklich ist.

Industrie 4.0 ist eine Zukunftsvision, die die Einbettung von Internettechnologien in der Industrie voraussagt. Die Triebkräfte hinter Industrie 4.0 sind Technologien. Nur wer diese verstanden hat, kann den Visionen folgen.

Industrie 1.0 bis 3.0 als Vorläufer

Die Erfindung des automatischen Webstuhls 1784 und die Kombination mit Dampf- oder Wasserkraft war die erste Stufe der Mechanisierung und Automatisierung menschlicher Arbeit, mit

damals kaum vorstellbaren Konsequenzen und einer Verhundertfachung der Produktivität bei der Stoffherstellung.

Die zweite industrielle Revolution beginnt 1870 mit der Arbeitsteilung in den Schlachthäusern Cincinnatis und wird mit der legendären Fließbandfertigung bei Ford in den USA perfektioniert. Die Produktivität bei Ford explodierte, der Tageslohn wurde auf 5 Dollar verdoppelt und der Preis des legendären Ford-Modells T wurde von circa 870 Dollar auf circa 270 Dollar reduziert [6]. Mit rechnerisch rund drei Monatslöhnen konnte ein Arbeiter ein solches Fahrzeug finanzieren – wiederum ein großer Schritt in Richtung Automatisierung mit dramatischen Folgen für Produktivität und Arbeitsumgebung der Menschen.

Die dritte industrielle Revolution brach schließlich im Jahr 1969 an, als die erste digitale und frei programmierbare Steuerung die bis dahin vorherrschende Festverdrahtung analoger und binärer Logik und Steuerprogramme abzulösen begann. Sie ist das Fundament der gesamten heutigen Automatisierungspyramide und moderner Prozessleitsysteme. Die weitreichenden Konsequenzen dieser Entwicklung sehen wir heute in hoch automatisierter Industrieproduktion.

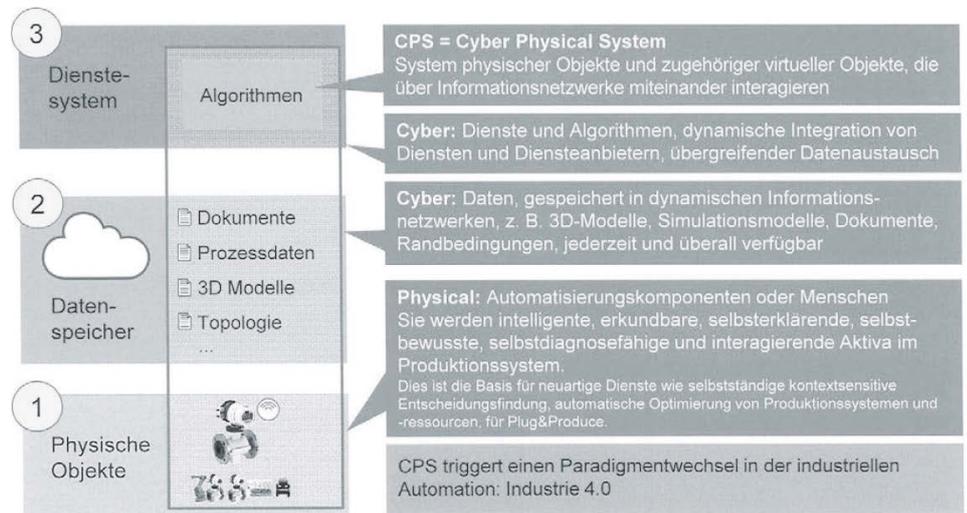
Technische Treiber hinter Industrie 4.0

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass erstmalig eine industrielle Revolution ausgerufen wird, noch bevor sie stattgefunden hat. Welche Besonderheiten initiieren Industrie 4.0 gerade jetzt? Mit folgenden Hypothesen sollen die Triebkräfte hinter Industrie 4.0 verdeutlicht werden.

- **Hypothese 1:** Kommunikationsinfrastruktur in Produktionssystemen wird in absehbarer Zeit so preiswert sein, dass sie künftig überall Einzug halten wird, weil sie so überaus sinn-

voll und nützlich für vielfältige Zwecke einsetzbar ist: für Engineering, Konfiguration, Service, Diagnose, Bedienung und Wartung von Geräten, Maschinen und Anlagen. Sie wird immer selbstverständlicher in allen Bereichen der Produktion und Industrie vorhanden sein. Dieser Trend ist unaufhaltsam und wird von niemandem forciert – es passiert einfach.

- **Hypothese 2:** Geräte, Maschinen, Anlagen und Fabriken werden mehr und mehr über diese Kommunikationsinfrastruktur mit einem Netz verbunden (dem Internet oder einem privaten Fabriknetz oder Firmenverbundnetz). Die physischen Objekte veröffentlichen im Netz Daten über sich selbst. (Das Netz meint hier nicht notwendig das Internet. Es kann ebenso ein geschlossenes Unternehmens- oder Produktionsnetz sein.) Die physischen Objekte erhalten eine zweite Identität als Datenobjekte im Netz. Sie werden im Netz suchbar, erkundbar und analysierbar, geben Auskunft über ihre Funktion und ihre Bedürfnisse. Dies führt zu einer Explosion verfügbarer Objekte und Einzeldaten.
- **Hypothese 3:** Geräte, Maschinen, Anlagen und Fabriken speichern Wissen über sich selbst außerhalb ihres „Körpers“ in ihrer virtuellen Präsenz im Netz. Sie kennen und veröffentlichen ihren eigenen Zustand, ihre Historie, aber auch Dokumente, 3D-Modelle oder Anforderungen im Netz. Diese Informationen sind aktuell, updatefähig und zunehmend vollständig. Dazu gehören auch Funktionen, Verhandlungsfähigkeiten oder Erkundungsfunktionen. Dies macht Geräte gewissermaßen „selbstbewusst“. Die Datenobjekte im Netz ergänzen das zugehörige physische Gerät und bilden dort eine zweite Identität. Viele solche Datenobjekte im Netz werden gemeinsam zu einem Wissensschatz.
- **Hypothese 4:** Softwaredienste werden im weiteren Verlauf die verfügbaren Daten miteinander verknüpfen und eine Wertschöpfung betreiben, die bisher nicht oder nur unwirtschaftlich möglich oder vorstellbar war. Anhand dieser Hypothesen wird die Idee hinter Industrie 4.0 spürbar. Aber sie sind noch nicht Industrie 4.0 selbst.



Drei Ebenen beschreiben ein cyber-physisches System (Abb. 1).

schwindigkeit sinnvoll an oder schalten an der Kreuzung den Motor umweltfreundlich automatisch ab. Künftige Navigationssysteme berechnen individuelle optimale Routen (grüne Wellen) in Abhängigkeit der eigenen Position, des Ziels und unter Berücksichtigung von Verkehrsbehinderungen.

Wenn künftig die Fahrzeuge ihrerseits ihre Positionen, Geschwindigkeiten und Ziele zurück in das Netz einspeisen würden, könnten Dienste die Ampelschaltungen auf Basis des tatsächlichen Verkehrs jederzeit flexibel anpassen. Polizei, Krankenwagen oder Feuerwehrfahrzeuge würden sich sogar „grüne Wellen“ buchen.

Der Neuheitswert dieses Szenarios liegt nicht in einer neuen Technologie, sondern erwächst durch die Kombination verfügbarer Technologien auf neue Weise. Die Verfügbarkeit massenhafter Daten erlaubt die Entwicklung von Diensten, die bisher nicht möglich waren, wie „Routenplanung mit grünen Ampeln“, „Buchen von grünen Wellen“ oder situative Verkehrsleitorientierung auf Basis von Echtzeitinformationen. In Kombination mit Wetterberichten, Kalenderdaten, Bezahlssystemen, geografischen oder historischen Daten ist ein neuer Grad an Organisation und Planung denkbar, die Möglichkeiten sind verblüffend und endlos.

Zusammengefasst bedeutet dies: Ein CPS benötigt drei verschiedene Ebenen (siehe Abbildung 1). Erstens die physischen Objekte (im Beispiel die Ampeln und Fahrzeuge). Zweitens Daten und Modelle dieser physischen Objekte in einer vernetzten Infrastruktur (für teilnehmende Ampeln und Fahrzeuge), hier als Cloud bezeichnet. Drittens werden – basierend auf den ersten beiden Ebenen – neue Produkte und Dienstleistungen entwickelt (zum Beispiel Auswertung der Ampelplanung, Routenplanung für grüne Wellen). Die Ebenen 2 und 3 bilden den Cyber-Anteil des CPS.

Dieses Prinzip ist universell, alle acht Szenarien der Umsetzungsempfehlungen für Industrie 4.0 [7], wie vernetzte Produktion, selbstorganisierende adaptive Logistik oder kundenintegriertes Engineering, lassen sich darauf abbilden.

Technische Ideen und Visionen

Das beschriebene Prinzip von CPS ist die Basis für Industrie 4.0. Wenn man dieses Konzept auf die Industrie übertragen würde, was wäre dort möglich? Industrielle Geräte bekämen künftig eine zweite Identität im Netz und sind dort herstellerübergreifend auffindbar: Bereits dies ist äußerst nützlich für alle Phasen des Anlagenlebenszyklus: für Engineering, Betrieb, Wartung und Service. Sie können im Netz „virtuell“ miteinander zu Systemen verschaltet und dort simuliert werden. Systeme können

Was sind cyber-physische Systeme (CPS)?

Industrie 4.0 gilt als eine Ausprägung sogenannter cyber-physischer Systeme (CPS). Das Konzept von CPS lässt sich anschaulich erklären. Betrachten wir dazu ein Beispiel aus dem Straßenverkehr: Heute werden Ampeln autonom oder von einem zentralen Verkehrsleitsystem gesteuert. In einer Umsetzung als CPS würden sich die realen Ampeln in einer zentralen Meldestelle anmelden und eine eigene Identität als Datenobjekt im Netz erhalten. Dort veröffentlichen sie ihre aktuelle Ampelstellung und ihren Zeitplan.

Jede Ampel existiert somit zweimal: als reale Ampel an der Kreuzung und als virtuelle Präsenz im Netz. Dort ist sie neben anderen Ampeln auffindbar. Basierend auf diesen Daten könnten sich zukünftig Fahrzeuge, unabhängig vom Hersteller, in der zentralen Meldestelle mithilfe standardisierter Schnittstellen über die Ampelschaltungen informieren und – abhängig von ihrer aktuellen Position – Informationen über die auf ihrer Route liegenden Ampeln abrufen. Die Fahrzeuge passen ihre Ge-

Beispiel Identifikatoren, Diagnosedaten, Geräteparameter, Prozesswerte und so weiter auslesen. Diese Daten sind die Grundlage für die Wertschöpfung im I4.0-Dienstsystem.

Zum Schutz der Produktion wird der direkte Zugriff auf Geräte, Maschinen oder Anlagen zunächst nur lesend erfolgen. Schreibzugriffe erfordern eine über die Security hinausgehende Prüfinstanz. Schreibzugriffe sind im Bild durch orange Ports symbolisiert. Die Prüfinstanz adressiert die Abstimmung des Schreibzugriffs im Kontext der gesamten Produktion im Kern der Automatisierungsanlage; so lassen sich unerwünschte Auswirkungen auf andere Anlagenkomponenten vermeiden. Beispiele für Schreibzugriffe sind das Herunterladen von Geräteparametern. Die Umsetzung der Prüfinstanz ist durch die Leittechnik, in der MES-Lösung oder durch einen Menschen möglich. Der direkte Schreibzugriff auf Endgeräte ist technisch zwar machbar, aber in der industriellen Praxis vorerst nicht empfehlenswert.

Die Daten des dunkelgrauen I4.0-Office-Netzes münden in einem privaten Datenspeicher und Dienstsystem. Alle Daten und Dienste darin sind nicht öffentlich und geschützt. Die Übertragungsprotokolle, Syntax und Semantik von Basisdaten und Diensten sind im Sinne einer herstellerübergreifenden Interoperabilität zu standardisieren. Der Zugang zu Daten und Diensten obliegt dem Eigentümer beziehungsweise Anlagenbetreiber. Die Publikation von Daten in ein öffentliches I4.0-Dienstsystem läuft kontrolliert über Schnittstellen und Rechtesysteme. Die I4.0-Wertschöpfung liegt bei privaten Diensten im privaten Dienstsystem oder bei Drittanbietern im I4.0-Dienstsystem. Die Rückführung wertschöpfender Dienste in das Produktionssystem ist Basis für Effizienzverbesserungen im Engineering, Betrieb, Service, für neue mobile Anwendungen und eine Vielzahl weiterer Anwendungsfälle.

Die hier vorgestellte Integrationstopologie ist weder neu noch verkörpert sie selbst Industrie 4.0: Sie versteht sich als grundlegender Rahmen für die tatsächliche Innovation von Industrie 4.0. Die logische Trennung der Industrie-4.0-Kommunikation, die Einführung expliziter Prüfinstanzen beim Schreibzugriff sowie die Trennung des privaten und des öffentlichen I4.0-Dienstsystems ermöglichen ein hohes Maß an Investitionsschutz, Stabilität, Steuerbarkeit und Security.

Was ist wirklich neu an Industrie 4.0?

Das wirklich Neue an Industrie 4.0 ist nicht etwa die Cloud, das Netzwerk oder die Kommunikation, auch nicht die Technologie „Dienstsystem“ – all das sind bekannte Technologien. Neue und bisher nicht verfügbare Zutaten liegen vielmehr in der

- herstellerübergreifenden Einigung (neu) auf standardisierte Syntax/Semantik zur Speicherung von Daten;
- herstellerübergreifenden Einigung (neu) auf standardisierte (neu) Dienste auf Basis standardisierter Semantik und die Kommunikation mit diesen;
- Einführung von Prinzipien wie „Selbstauskunft“ (neu) und „Erkundbarkeit“ (neu) und so weiter als Basis für herstellerübergreifende Wertschöpfung;
- Verfügbarkeit von Diensten (neu), die Wertschöpfung aus der herstellerübergreifenden Verfügbarkeit von Daten betreiben;
- Verknüpfung von Diensten (neu).

Dies erfordert ein gemeinsames Dienstsystem, dessen Möglichkeiten wie bei einem Smartphone-Appstore endlos erscheinen, und unterstreicht die Bedeutung der Normungs-Roadmap für Industrie 4.0 [10] sowie den benötigten Abstimmungsbedarf zwischen beteiligten Gremien und Industrien. Dennoch: Die Wert-

schöpfung entsteht erst durch die Verwirklichung realer Anwendungen mit diesen Zutaten. Einige Szenarien sind in [7] beschrieben, die meisten sind aus Sicht des Autors jedoch noch nicht erfunden. Um diese Ziele zu erreichen, sind Forschung und Entwicklung notwendig.

Im Ergebnis eröffnet sich ein umfassendes Zukunftsbild, dessen Inhalt in der Definition des Lenkungsgebietes der Plattform Industrie 4.0 umrissen wird: „Der Begriff Industrie 4.0 steht für die 4. industrielle Revolution, eine neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Dieser Zyklus orientiert sich an den zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen.“

Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien, wie beispielsweise Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch, optimieren lassen. (js@ix.de)

Literatur

- [1] H. Kagermann, W. D. Lukas, W. Wahlster; Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution; VDI-Nachrichten, 2011
- [2] VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V., Frankfurt/Main; www.vdma.org
- [3] ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V., Frankfurt/Main; www.zvei.org
- [4] Bitkom – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V., Berlin; www.bitkom.org
- [5] www.plattform-i40.de
- [6] www.heise.de/autos/artikel/Der-Vater-des-Autokonsums-1926988.html
- [7] Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. www.bmbf.de/pubRD/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf
- [8] www.plattform-i40.de/blog/arbeitsst%C3%A4nder-plattform-industrie-40
- [9] www.plattformi40.de/sites/default/files/Vortragsfolien%20Veranstaltung%20im%20BMW%2018022014.pdf
- [10] DKE/VDE; Die Deutsche Normungs-Roadmap Industrie 4.0, 2013; www.dke.de/Roadmap-Industrie40

Quelle



Der Artikel ist ein Auszug aus:
Manzei, Christian; Schlepner, Linus; Heinze, Ronald (Hrsg.)

Industrie 4.0 im internationalen Kontext; Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends

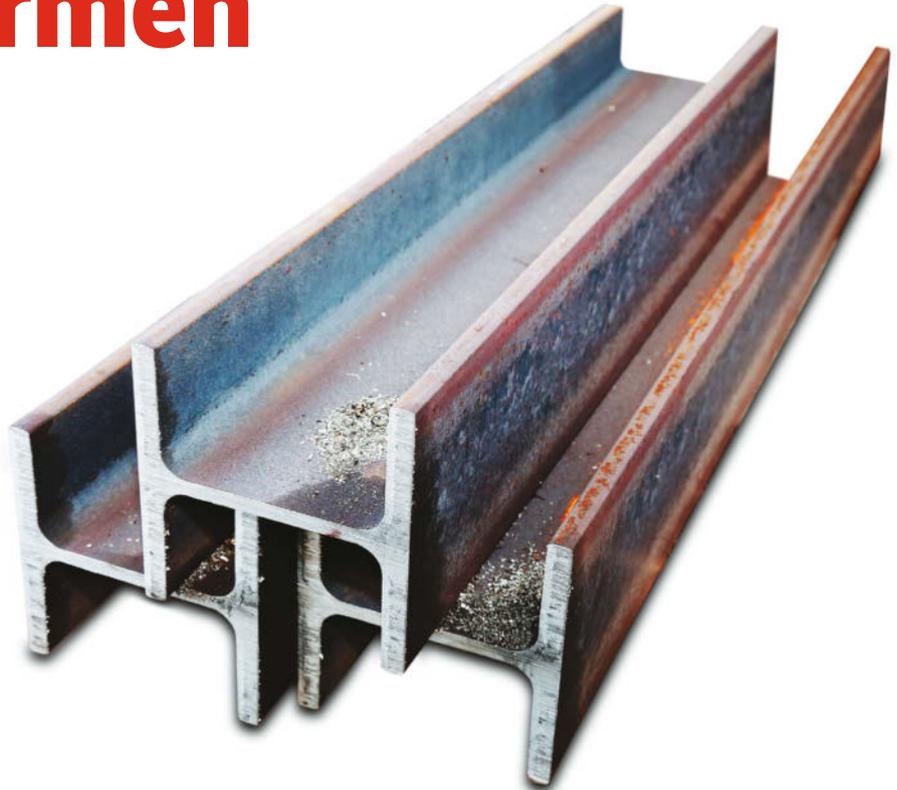
2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage
VDE Verlag GmbH Berlin, Offenbach 2017
Copyright by VDE VERLAG GMBH

Architekturen und Entwurfsregeln im IIoT

Klare Formen

Michael Stal

Die Industrie stellt hohe Anforderungen an das IoT – und das nicht nur bei Qualitätsattributen wie Skalierbarkeit, Sicherheit oder Stabilität. Bei der Umsetzung helfen Architekturkonzepte, die das berücksichtigen.



Zu Haus präsentiert sich das IoT noch relativ einfach. Ganz anders verhält es sich beim industriellen IoT. Um eine Industrieanlage kann sich ein Netz mit Zehntausenden Knoten spannen. Sie leisten Analytik-, Wartungs- und Steuerungsaufgaben, und das nicht selten unter rauen Umweltbedingungen und mit höchster Sicherheitskritikalität. Selbstredend erwarten Betreiber einen 24/7-Betrieb, und das ohne störenden Einfluss der IoT-Infrastruktur auf die laufende Produktion, auch bei Updates. Die anfallenden Datenmengen nehmen riesige Dimensionen an und erfordern mitunter Echtzeitverarbeitung. Personen mit unterschiedlichen Rollen interagieren mit den Systemen, etwa Arbeiter, Administratoren, Integrierten und Betriebsleiter.

In der Referenzarchitektur des Industrial Internet Consortium zerlegt die Layered Databus Architecture die Vernetzung des IIoT in Schichten (siehe Abbildung 1 und [a], alle Verweise unter ix.de/ix1813012). Auf der untersten Ebene kommunizieren die Maschinen lokal über Busse. Ein Bus repräsentiert dabei eine logische Kommunikationsschicht, die gemeinsame Schemata und Kommunikationsmechanismen vorgibt.

Die Maschinen lassen sich in Subdomänen oder Units zusammenfassen, etwa in Produktionsstraßen. Alle Units zusammen definieren eine industrielle Produktionsstätte oder Site. Auf oberster Ebene kooperieren im industriellen Internet mehrere Sites miteinander.

Zugleich erweitert sich der Blick auf die Unternehmensprozesse nun auf den gesamten Produktlebenszyklus von der Produktidee über Betrieb und Wartung bis hin zum Recycling

unter Einbeziehung der Wertschöpfungskette. Diese Entwicklung transformiert die bisher hierarchische Automatisierungspyramide zu einem holistischen System von Systemen (siehe Abbildung 2).

Prinzipien der industriellen Digitalisierung

Mit der Industrie 4.0 einher geht die Digitalisierung, die die Kommunikation innerhalb der und zwischen den Unternehmen umfasst. Die Produktion lässt sich dadurch leichter und schneller an die Bedürfnisse von Kunden anpassen und erlaubt das Herstellen maßgefertigter Produkte zu den Kosten von Massenprodukten. Industrie 4.0 organisiert die industrielle Digitalisierung durch vier Prinzipien:

- Die **Interoperabilität** bedeutet die horizontale und vertikale Vernetzung und Zusammenarbeit aller beteiligten Dinge, Dienste, Maschinen, Industrieanlagen und Menschen.
- Die **Informationstransparenz** umfasst die Fähigkeit von IT-Systemen, virtuelle Zwillinge echter Dinge zu erzeugen, meist erweitert um Metadaten und Sensordaten.
- Die **Assistenz durch CPS** (cyber-physische Systeme) beschreibt die Entscheidungsunterstützung des Menschen durch das System auf Grundlage gesammelter und visualisierter Informationen (siehe Artikel „Neu verbunden“ auf Seite 8).
- **Dezentrale Entscheidungen** meint die Fähigkeit autonomer Systeme, lokal und selbstständig Entscheidungen zu treffen.

Eine Delegation an höhere Ebenen geschieht nur dann, wenn ein System auf widersprüchliche Ziele oder unerwartete Ausnahmbedingungen stößt. Beispielsweise kann ein Werkstück bei seiner Produktion Hinweise an die beteiligten Maschinen liefern, wie sie mit ihm umgehen sollen. Maschinen können sich koordinieren.

Das klingt teilweise noch futuristisch und führt zu einigen technischen Hürden. Wenn die Digitalisierung zuvor geschlossene Produktionsprozesse öffnet, ergeben sich hohe Anforderungen an die IT-Sicherheit (siehe Artikel „Vorsicht“ auf Seite 26). Die Kommunikation von Maschinen in großem Umfang benötigt eine hohe Skalierbarkeit sowie Fehlertoleranz und gleichzeitig kurze Antwortzeiten. Kein Produktionsleiter akzeptiert es, wenn die Digitalisierung die Produktionsprozesse durch Sicherheitsprobleme und Produktionsstopps behindert. Software-Updates und Wartung dürfen nicht den 24/7-Betrieb stören. Das in der IIoT durch Analytik, Big Data oder Maschinenlernen anfallende Wissen ist ebenfalls unternehmenskritisch und benötigt entsprechenden Schutz.

Architektonik bringt Ordnung

Dadurch ergeben sich stringente Anforderungen an die Architektur der beteiligten Infrastrukturen, Geräte und Anwendungen. Bei einer großen Zahl IoT-Geräte geht die Übersicht verloren, falls deren Organisation in einer flachen Hierarchie erfolgt. Es bietet sich an, die Geräte anhand unterschiedlicher Ordnungskriterien zu gruppieren, etwa auf Grundlage der geografischen Position oder der bereitgestellten Funktion.

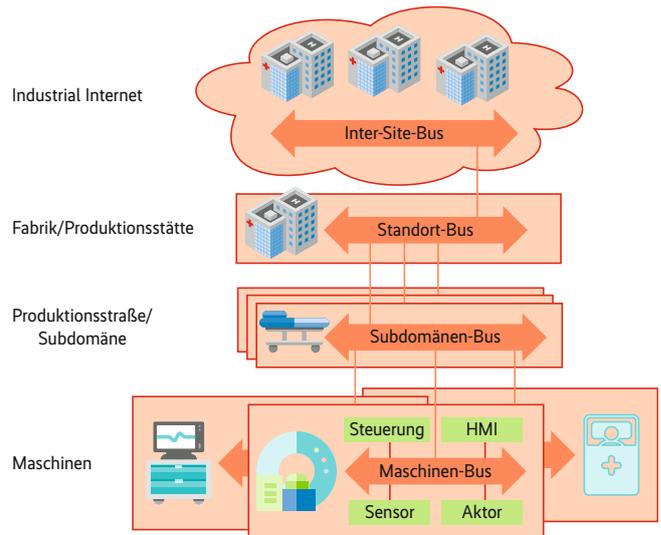
Das Verwalten dieser Geräte erfordert spezielle Managementsoftware, die den Status der Geräte im Blick behält, das Anmelden oder Onboarding neuer und das Abmelden oder Offboarding bestehender Geräte sowie Firmware-Updates, Wartung und Gerätekonfiguration ermöglicht.

Geräte unterscheiden sich darin, ob sie eine direkte Kommunikation zu Cloud-Diensten oder Servern benötigen. Falls nein, könnten sie über lokale Mechanismen wie ZigBee oder BLE (Bluetooth Low Energy) mit einem Gateway kommunizieren, das stellvertretend für die Geräte mit entfernten Diensten oder anderen Gateways interagiert. Diese Trennung in Gateways und angeschlossene Nodes oder Beacons bringt unter anderem organisatorische und ökonomische Vorteile. In dieser Master-Slave-Architektur dirigiert und orchestriert das Gateway als Master die angeschlossenen Nodes.

Embedded-Controller, die als Basis für IoT-Geräte dienen, unterscheiden sich erheblich. Diese hohe Heterogenität führt zu einer entsprechenden Komplexität der Firmware-Entwicklung und Geräteverwaltung. Selbst wenn ein industrieller Anwender die Zahl der eingesetzten Geräteprofile minimieren kann, steigt sie spätestens beim Wechsel zu neuen Hardwareplattformen oder beim Integrieren bestehender IoT-Komponenten oder -Anlagen.

Separieren mit Containertechnik

In den Griff bekommen lässt sich dies etwa über Containervirtualisierung à la Docker, wodurch Entwickler und Administratoren stets dieselbe Sicht auf die zugrunde liegende Hardwareplattform erhalten. Nebeneffekt ist das leichtere Simulieren und Testen, zumal Container auch auf anderen Systemen als auf dem Gerät ausführbar sind. Durch die Trennung von Funktion und System lässt sich Ersteres auch leichter auf ein anderes System verlagern. Zudem erlaubt die Virtualisierung, neue Geräte mit

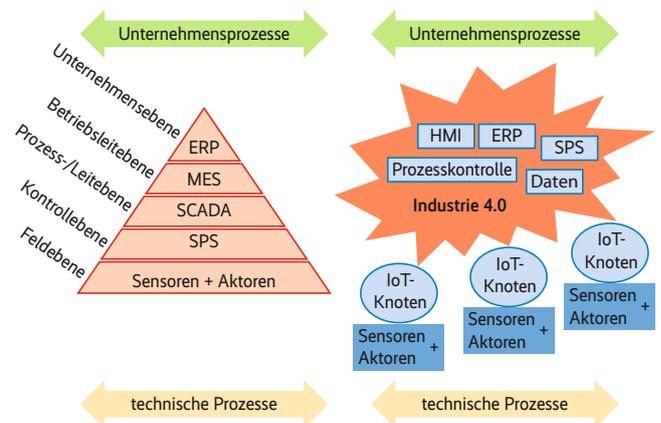


In der Layered Databus Architecture kommunizieren Geräte, Anlagen oder Produktionsstätten miteinander (Abb. 1).

demselben definierten Softwarestand auszustatten, der sich noch dazu über Werkzeuge wie Git versionieren lässt.

Zudem isolieren und separieren Container Anwendungsdienste voneinander und von systemrelevanten Bestandteilen. Das Separieren hat den Charme, dass Systemadministratoren Anwendungen getrennt von den systemnahen Teilen der Firmware testen, ändern, erweitern, konfigurieren oder aktualisieren können. Eine IoT-App oder ein IoT-Dienst könnte etwa ein Skriptinterpreter sein. Andere Anwendungsdienste filtern, analysieren und aggregieren Daten.

Für die geräteunabhängige App-Entwicklung und die Konsolidierung mehrerer Apps auf einem Ding bietet sich die Implementierung einer Laufzeitumgebung für Apps an. Sie schottet Apps von der zugrunde liegenden Plattform ab und kontrolliert den Lebenszyklus der Apps. Durch Dependency Injection erhalten Anwendungen zu Beginn ihrer Lebenszeit Referenzen auf APIs zur Interaktion mit der Laufzeitumgebung, etwa zur Entgegennahme von Ereignissen oder zum Zugriff auf APIs. Die OSGi-Plattform ist ein Beispiel für diese Art von Laufzeitumgebung (siehe Abbildung 3).



Das IIoT umfasst die vertikale Integration von der Unternehmens- bis zur Feldebene und die horizontale Integration über einzelne Unternehmen hinweg. Damit sprengt es die klassische Automatisierungspyramide (Abb. 2).

Selbst wenn Sensoren und Aktoren identische Aufgaben bewältigen, haben sie unterschiedliche Schnittstellen, was zu Abhängigkeiten führt und die Komplexität erhöht. Abhilfe schaffen Wrapper. Dadurch können Programmierer unabhängig von der Art des Sensors auf die Messwerte zugreifen. Auf API-Seite zeigt die JavaScript-Bibliothek Johnny-Five, wie es geht. Sie bietet eine Hardwareabstraktion, die beispielsweise mithilfe des Strategy-Patterns Repräsentanz und Gerät voneinander trennt.

Zuverlässigkeit erhöhen mit vermaschten Netzen

Die Zuverlässigkeit des Netzes erhöht man mit Mesh Networks. Vermaschte Netze verlassen sich nicht auf wenige zentrale Knoten, sondern setzen auf möglichst viele redundante Pfade. Fällt eine Strecke oder ein Weiterleitungsknoten aus, suchen sich die Knoten einen anderen Weg. Häufig eingesetzte Mesh-Kommunikationsprotokolle sind ZigBee, BLE und Thread. Im Fall von Sensornetzen, bei denen Knoten weit verteilt oder in abgelegenen Gebieten stationiert sind, helfen Wireless-Techniken mit

sehr wenig Energiebedarf und hoher Reichweite (siehe Artikel „Geregelter Durchlauf“ auf Seite 96).

Updates von Firmware oder applikationsnahen Diensten auf einem Gerät initiiert entweder ein Server oder das Gerät selbst. Da auch im IIoT Geräte und Server temporär offline sein können, erweist es sich als notwendig, dass Updates auf einem Gerät häppchenweise erfolgen und der Lademechanismus die Datenpakete schrittweise in einem persistenten Speicher ablegt. Sind alle Pakete angekommen, installiert der geräteinterne Dienst das Update. Da Firmware-Updates auch schiefgehen können, muss der Dienst notfalls ein Rollback auf die alte Firmware durchführen können. Der persistente Speicher muss entsprechend Platz für zwei Firmware-Versionen vorhalten. Zudem benötigt jedes Gerät einen immer lauffähigen Updatedienst. Auf dem Server liegen Updates und Apps in einem Repository beziehungsweise einem Store vor.

Im IoT dominiert die ereignisgetriebene Verarbeitung, denn meist lösen neue Daten eine Aktion aus, gleich, ob ein Bewegungssensor anschlägt oder der Ablauf eines Timers eine Temperaturmessung initiiert. In cyber-physischen Systemen findet die ereignisgetriebene Kommunikation auf zwei Ebenen statt.

Grundmuster der Kommunikation

Neben der Sicht auf das IIoT aus großer Höhe existieren detailliertere Architekturkonzepte. Paolo Patierno, Principal Engineer bei Red Hat, hat vier Grundmuster für die Kommunikation innerhalb einer IoT-Umgebung aus Sicht einer IoT-Geräts identifiziert.

- **Telemetry:** Ein Gerät meldet unidirektional Zustandsänderungen an andere Systeme. Ein Auslöser kann die Messwerverfassung eines Sensors sein.
- **Notifications:** Andere Systeme melden unidirektional Statusänderungen an das Gerät.
- **Inquiries:** Mit Aufrufen will ein Gerät Information von außen erhalten oder dort Aktivitäten auslösen.
- **Commands:** Mit Kommandos initiieren andere Systeme auf Geräten Aktivitäten.

Genau genommen stellen Telemetry und Notifications sowie Inquiries und Commands zwei Seiten einer Medaille dar. Zudem ist diese Unterscheidung sehr grobgranular. Intel geht mit seinen Kommunikationsmustern weiter ins Detail [g]:

- **Request/Response:** Bei dem bekannten Muster der Client-Server-Kommunikation sendet der Client einen Request, auf den der Dienst antwortet (Response). HTTP, Webservice, REST, CoAP, XMPP arbeiten so.
- **Reliable Messaging:** Diese Variante des Request/Response stellt sicher, dass jede Nachricht exakt einmal beim Empfänger ankommt. Geht eine Nachricht verloren, muss der Sender bis zum erfolgreichen Empfang die Nachricht wiederholen. MQTT und AMQP kennen das Muster, HTTP und XMPP über Erweiterungen.
- **Asynchronous Messaging:** Ein Knoten verschickt eine Nachricht an gleichberechtigte Knoten. Darauf lassen sich alle anderen Kommunikationsmuster aufbauen. Das Muster findet sich in XMPP, AMQP und UDP.
- **Event Subscription:** Ein Client registriert sich beim Server, weil er über bestimmte Ereignisse benachrichtigt werden will. Das erspart dem Client ständiges Anfragen, kann aber mit Sicherheitsbedürfnissen kollidieren oder eine komplexere Implementierung erfordern.
- **Multicasting:** Der Sender verschickt die Nachricht an die Empfänger, die sich vorher bei ihm oder einem Vermittler (Broker) angemeldet

haben. Das Muster eignet sich für viele Aufgaben, etwa zur Synchronisation. Es taucht auf in XMPP, AMQP und UDP.

- **Publish/Subscribe:** Bei dieser Erweiterung des Multicast-Musters speichert ein vermittelnder Knoten die Nachricht – entweder nur die letzte, nur eine begrenzte Zahl oder alle Nachrichten. Die angemeldeten Empfänger erhalten jeweils nur eine Referenz auf die Nachricht. Protokolle, die das unterstützen, sind MQTT, AMQP, DDS und XMPP.
- **Queues:** Mehrere Teilnehmer schreiben ihre Daten in FIFO-Queues eines Zwischenknotens, die den geordneten Empfang gewährleisten. Dadurch ist eine Trennung zwischen Datenproduzenten und deren Verarbeitern gegeben. Nur AMQP implementiert Queues nativ.
- **Message Brokers:** Geräte verbinden sich aktiv mit einem zentralen Message Broker und senden ihm Nachrichten, die er registrierten Clients weiterleitet. Dadurch lassen sich gezielt Konflikte mit Firewalls vermeiden. Die Broker können als Vermittler bei Multicasting, Publish/Subscribe und Queue agieren oder Authentisierungsaufgaben übernehmen. Zumindest partiell implementiert ist das Muster bei XMPP, AMQP, MQTT und DDS.
- **Federation:** Ein globales Netz sollte per Divide-and-Conquer-Strategie in Subnetze unterteilt sein. In HTTP oder CoAP passiert Federation anhand von Internetdomänen. Beim Federation-Muster können sich Broker unterschiedlicher Domänen gegenseitig authentifizieren und Nachrichten übermitteln. Nur XMPP und der Nicht-IoT-Protagonist SMTP (Simple Mail Transport Protocol) implementieren das Muster.
- **Discovery:** In großen Netzen kann nicht jeder Teilnehmer die Netzwerkidentität jedes anderen Teilnehmers kennen. Ein Discovery-Mechanismus kann konzeptionelle Identitäten – Seriennummer, Inventarnummer oder logische Namen – feststellen und auf Netzwerkidentitäten abbilden. Dinge registrieren sich dazu in einer Datenbank, der Registry, und deren Nutzer finden sie über ihre konzeptionelle Identität. Noch unterstützt dies nur eine XMPP-Erweiterung.
- **Delegation of Trust:** Bei Anfrage eines Nutzers an ein IoT-Gerät fragt dieses eine Trust Identity um Erlaubnis. Durch Machine Learning oder direkte Kommunikation mit dem Nutzer kann sich die Trust Identity die Vorgeschichte merken. Auch dieses Muster ist nur in einer XMPP-Erweiterung implementiert.

Die Programmierung des Geräts basiert auf einer Ereignisschleife von Reactor- und Proactor-Pattern, in der bestimmte systemnahe Ereignisse wie Timer-Alarme oder Interrupts das Auslesen von Sensoren oder das Ansteuern von Aktoren auslösen. Zugleich fungiert das Gerät für seine Umgebung als Ereignisquelle und Ereignissenke.

Erst verarbeiten, dann verschicken

Schon aufgrund der schieren Datenmenge sind Mechanismen notwendig, die ihrer Herr werden. Deshalb überträgt man keine Rohdaten ungefiltert in die Cloud. Stattdessen bietet sich Edge oder Fog Computing an, das die Daten auf dem Gerät oder in seiner Nähe analysiert, filtert, komprimiert und daraus Informationen ableitet (siehe Artikel „Selbstgeregelt“ auf Seite 102). Die verarbeitete Information kann der Edge- oder Fog-Knoten auf den Weg schicken oder lokal in einer Datenbank zwischenspeichern. Die Wahl der Datenbank muss auf das Anwendungsprofil und die geringen Ressourcen eines Edge-Geräts Rücksicht nehmen. Oft greift man zu In-Memory-Databases, falls das Datenvolumen dies zulässt, oder zumindest zu optimierten Embedded-Datenbanken. Die Art der Datenbank wie Graphen- oder Key-Value-Datenbank orientiert sich an der Art der Anwendung. Einige Daten wie die von Sensoren benötigten einen Zeitstempel, weshalb die IIoT-Infrastruktur eine zentral koordinierte Zeit braucht.

Die Datensicherheit stellt einen essenziellen Aspekt für die industrielle Digitalisierung dar. Das gilt für Geräte, Backend-Dienste und Personen gleichermaßen. Bei Anmeldung und Betrieb eines IoT-Geräts muss dessen Identität, Autorität und Integrität gewährleistet sein. Auf der anderen Seite benötigen Geräte die Sicherheit, dass die von ihnen benutzten Dienste tatsächlich diejenigen sind, für die sie sich ausgeben. Und der Zugriff auf Komponenten der IoT-Infrastruktur darf nur berechtigten und eindeutig identifizierten Personen beziehungsweise Rollen möglich sein. Um Manipulationen vorzubeugen, bietet es sich an, entsprechende Zertifikate fest in der Gerätehardware zu verankern. In der Cloud verankerte IAM-Dienste (Identity and Access Management) dienen für alle beteiligten Clients, Dinge und Dienste als Türsteher, ohne deren Plazet keinerlei Interaktionen oder Zugriffe möglich sind.

Feingranulare Dienste für alle Gerätearten

Microservices definieren feingranulare, unabhängige Dienste, die autonom arbeiten und über definierte APIs miteinander kooperieren. Sie bieten unter anderem eine leichtere Modularisierung, bessere Wartbarkeit, weniger Abhängigkeiten und eine höhere Fehlertoleranz, da Fehler auf einzelne Services beschränkt bleiben. Im Idealfall hat jeder Microservice eine eigene Datenbank, wodurch dieselben Informationen in verschiedenen Datenbanken vorhanden sein können. Der Gefahr der Dateninkonsistenz ist mit entsprechenden Synchronisationsstrategien zu begegnen.

Microservices sind auf Servern, Gateways oder leistungsstarken Edge-Knoten einsetzbar. Auf Knoten lassen sie sich idealerweise als Docker-Container verteilen und etwa als Kommunikationskomponenten, für die Datenakquise oder -analytik nutzen. Das EU-Projekt Agile IoT [b] beschäftigt sich genau hiermit.

Die Zusammenarbeit von Geräten, Diensten und menschlichen Nutzern ist in Workflows definiert, für deren Ablauf

Bleib flexibel als

(ASSOCIATE)

IT-Consultant

AUSRICHTUNG INFORMATIONSMANAGEMENT

- Entwurf & Aufbau betrieblicher IT-Systeme
- Anforderungsanalysen für die IT-Unterstützung
- Innerbetriebliche Datenanalysen
- Ableitung technischer Optimierungsansätze
- Planung und Betreuung von Rollouts



DEIN PROFIL:

- Naturwissenschaftliches, technisches oder (wirtschafts-)informatisches Studium
- Sehr gute Kenntnisse im Umgang mit Datenbanken und -modellierung, SQL, moderne Datenanalyse-Techniken
- Interesse an NoSQL- oder In-Memory-Datenbanken
- Erfahrung mit CRM, ERP und Warenwirtschaft



GLEICH BEWERBEN!

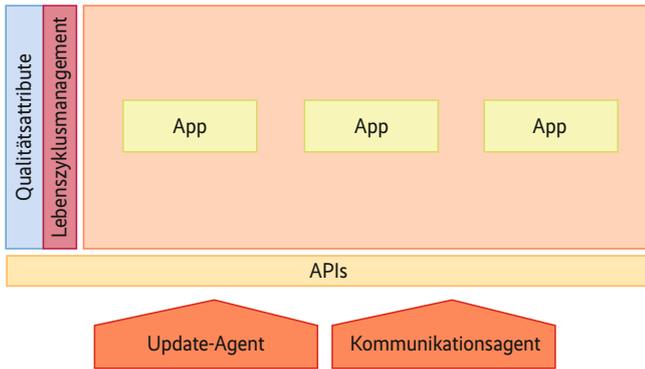
Deine Ansprechpartnerin: **Bahar Nurdogan**

Telefon: 07 21/61 90 16-70

recruiting@consileon.de | consileon.de/karriere

Consileon ist nicht irgendeine Beratungsfirma. Wir betreuen DAX- und Großkonzerne, aber auch mittelständische Firmen. Unternehmen aus dem Banking sowie der Finanz- und Versicherungsbranche vertrauen uns ebenso wie Automobilhersteller, Handelshäuser oder IT-Unternehmen.

DEIN LEBEN. DEINE KARRIERE. DEINE WAHL.



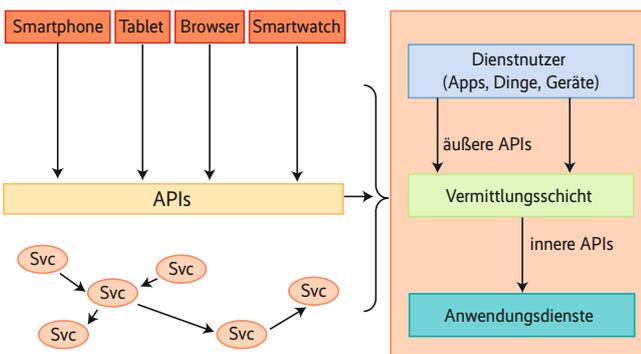
Die Laufzeitumgebung steuert den Lebenszyklus der Anwendungen. Agenten erledigen ihre Arbeit im Hintergrund (Abb. 3).

Workflow Engines zuständig sind. Lügen alle Abläufe programmatisch vor, müssten Entwickler sie zur Entwicklungszeit hart codieren. Jede Änderung wäre dann aufwendig und nur durch DevOps und Entwickler machbar. Daher haben deklarativ definierte Workflows, die zur Laufzeit interpretiert werden, viele Vorteile. Das gilt auch für Reaktionen auf Ereignisse. Zum Anstoßen ereignisabhängiger Aktionen empfiehlt sich der Einsatz von Rules Engines. Sie verarbeiten Regeln, die Ereignisse und Aktionen verknüpfen. Die Regeln lassen sich zur Laufzeit ändern oder einrichten, woraus eine hohe Flexibilität resultiert.

Andere Benutzer-Interfaces

Im IIoT interagieren Nutzer mit unterschiedlichen Rollen, Kenntnissen und Anforderungen über diverse Endgeräte wie Tablets, Smartphones, Notebooks oder HMI-Panels (Human Machine Interface). Ein Wartungsingenieur könnte eine Anlage auf seiner Workstation beobachten, aber vor Ort ein Tablet in die Hand nehmen. Es wäre daher von Vorteil, könnten Nutzer während einer Transaktion per automatischem Handover von einem Gerät zum anderen wechseln. Das würde ein kontinuierliches Speichern der relevanten Session-Information sowohl lokal als auch zentral erfordern. Die Client-Apps müssen dabei in der Lage sein, sich beim Start gemäß Session-Information zu konfigurieren und zu präsentieren.

Zudem reichen die traditionellen Benutzerschnittstellen nicht aus. Möchte der Wartungstechniker eine entfernte Maschine



Die MASA-Architektur basiert auf Apps, APIs und Services. APIs zeigen nach außen eine andere Sicht als nach innen (Abb. 4).

überprüfen, können Virtual oder Augmented Reality sie über ein Display oder eine Brille visualisieren. Änderungen oder Erweiterungen der Anlage ließen sich visuell vorplanen. Ein Dienst könnte Lagerarbeiter über AR-Methoden zu Positionen im Lager lotsen, Entwickler könnten schon während der Planung per Simulation die Anlage betrachten, während Qualitätsprüfer zusätzliche Metainformation über Fehler-Hotspots erhalten. Versehen Ingenieure Anlagenkomponenten, Werkstücke und Bauteile mit Zusatzfunktionen und Metainformation, sind auch gegenseitige Koordinationen möglich. Im einfachsten Fall befindet sich ein RFID im Gerät, im komplexeren Fall ein CPS, um mit ihm zu interagieren. Beim IIoT muss eine Entkopplung von Anwendungslogik und der User Experience im Sinne des Model-View-Controller-Patterns stattfinden.

Gartner hat im Jahre 2016 die Mesh App and Service Architecture (MASA) vorgestellt, die ein grobes Architekturkonzept für die Digitalisierung und damit fürs IIoT beinhaltet [c]. Zu den Versprechen des Konzepts gehören die effiziente Analyse von Daten, dadurch ein schnelleres Feedback sowie eine große Skalierbarkeit. Durch Redundanz möchte MASA eine hohe Zuverlässigkeit erreichen sowie durch APIs als Basis von Ökosystemen parallele und offene Innovation fördern. Zur Wertschöpfung verhelfen Wertgenerierung über mehrdimensionale Kanäle und geringere Kosten durch MASA als Standardarchitektur. Die Architektur folgt dem ereignisgetriebenen Architekturdesign und definiert als seine drei tragenden Grundpfeiler Apps, Services und APIs (siehe Abbildung 4).

Apps bieten zweckgebundene Benutzerinteraktion, nutzen dafür verschiedene Services und zielen auf unterschiedliche Personen und Rollen. Der Nutzer kann die User Interfaces wechseln, etwa vom Desktop zum Smartphone, ohne dass er die Session verlässt. Services implementieren die Funktionen und geben Zugriff auf Daten und andere Entitäten. Sie kommen in drei verschiedenen Ausprägungen vor: als feingranulare Microservices zum Bereitstellen individueller Leistungsmerkmale, als Miniservices für domänenspezifische Funktionen und als grobgranulare Macroservices, um ganze Geschäftsdomänen zu implementieren. Je feiner die Granularität, desto höher nach MASA die Agilität.

An den Bedürfnissen der Anwender orientiert

APIs fungieren als Schnittstelle zu Diensten und haben daher strategische Relevanz, weshalb ihr Entwurf durch Strategieteams erfolgen sollte. APIs orientieren sich an den Bedürfnissen der Nutzer, nicht an den Fähigkeiten der Dienste. Eine Adaptionsschicht bildet die nutzerorientierte Sicht der Schnittstellen auf eine servicezentrische Sicht ab. Das ermöglicht die Verwendung mehrerer HMIs, verbirgt die Komplexität der dahinterstehenden Technik nach außen, erleichtert Apps die Nutzung von Diensten, unterstützt eine API-Versionierung und sichert nicht zuletzt die Interaktionen im System ab und unterwirft sie einem sauberen Management.

MASA bietet einen generischen und flexiblen Architekturansatz, der alle essenziellen Bestandteile der Digitalisierung enthält. Zwar baut es auf bekannten und bewährten Architektur- und Technikkonzepten auf, bleibt aber bei der Implementierung zu unkonkret. Die eingeführten Abstraktionen sind notwendig, aber nicht hinreichend. Neben detaillierten Richtlinien fehlen Entwurfsmuster und -taktiken, um MASA architektonisch zu detaillieren und die Herausforderungen zu meistern, die eine IIoT-Implementierung mit sich bringt. Auch für die