



---

DIGITALE ZUKUNFT

# OPC UA und TSN: Industrie 4.0 für Endgeräte

OPC UA und IEEE TSN sind zwei wegweisende Elemente von Industrie 4.0, die das Potential haben, die industrielle Automatisierung von der Feldgeräte- bis zur Unternehmensebene zu revolutionieren. Wie gut eignen sich die allgegenwärtigen, manchmal über begrenzte Ressourcen verfügenden Geräte der heutigen Automatisierungslandschaft für diese neuen Technologien?



—  
Titelbild: OPC UA und TSN könnten das Gesicht der industriellen Datenerfassung und -verarbeitung verändern – so wie in dieser Fertigungsanlage für Solarmodule.

Für ABB spielt Industrie 4.0 eine entscheidende Rolle für die Zukunft der Industrieautomatisierung. Zwei bedeutende Elemente von Industrie 4.0 sind OPC UA und IEEE TSN.

OPC UA (Open Platform Connectivity and Unified Architecture) ist die nächste Generation von OPC. OPC UA beseitigt viele Unzulänglichkeiten von OPC und ermöglicht eine flexiblere, sicherere, offenere und zuverlässigere Handhabung von Daten. OPC (OLE for Process Control, wobei OLE für „Object Linking and Embedding“ steht) geht auf eine standardisierte Software-Schnittstelle zurück, die es Windows-Programmen erlaubt, mit kompatibler industrieller Hardware zu kommunizieren. OPC basiert auf einer Server-Client-Architektur. Bei OPC handelt es sich um einen offenen Standard, d. h. ein Hardwarehersteller braucht lediglich einen OPC-Server für sein Gerät bereitzustellen, der dann problemlos mit jedem anderen OPC-Client kommunizieren kann. Dies löst das Problem von herstellerspezifischen Protokollen, Schnittstellen usw. OPC UA ist besser in der Lage, das Volumen und die Komplexität der heutigen Datenlandschaft zu bewältigen – eine Herausforderung, die die Entwickler von OPC nicht voraussehen konnten.



**Alexander Gogolev**  
ABB Corporate Research  
Ladenburg, Deutschland

alexander.gogolev@  
de.abb.com

IEEE TSN (Time-Sensitive Networking) ist die Bezeichnung einer Reihe von IEEE-Standards,

die eine deterministische Datenübertragung für OPC UA auf den unteren Kommunikationsebenen ermöglicht. Miteinander kombiniert haben TSN und OPC UA nicht nur das Potenzial, vorhandene Feldbusse zu ersetzen, sondern auch leistungsmäßig zu übertreffen [1]. Beide Technologien sind auf dem Markt erhältlich, jedoch mit unterschiedlichem Reifegrad.

Endgeräte mit OPC UA und TSN auszurüsten, kann zur Herausforderung werden, wenn diese über begrenzte Ressourcen verfügen. Kürzlich hat ABB das Leistungsvermögen typischer Endgeräte im Hinblick auf eine Implementierung von OPC UA und TSN untersucht. Im Rahmen eines Forschungsprojekts im Kontext von IIoT (Industrial Internet of Things) wurden mehrere Hard- und Softwareplattformen evaluiert, um drei Proof-of-Concept-Implementierungen für verschiedene ABB-Produktprototypen zu entwickeln. Diese Geräte wurden mit OPC UA ausgerüstet, und anschließend wurde die Systemintegration mit Extended Automation System 800xA und TSN verglichen. Die Leitfrage lautete: „Ist das Industrie-4.0-Konzept in der Lage, die deterministische Datenübertragung und den erweiterten Datenzugang mit TSN und OPC UA zum Vorteil zu nutzen, und können diese neuen Mechanismen in Produkte integriert werden, um erweiterte Fähigkeiten und eine höhere Leistung zu erzielen?“

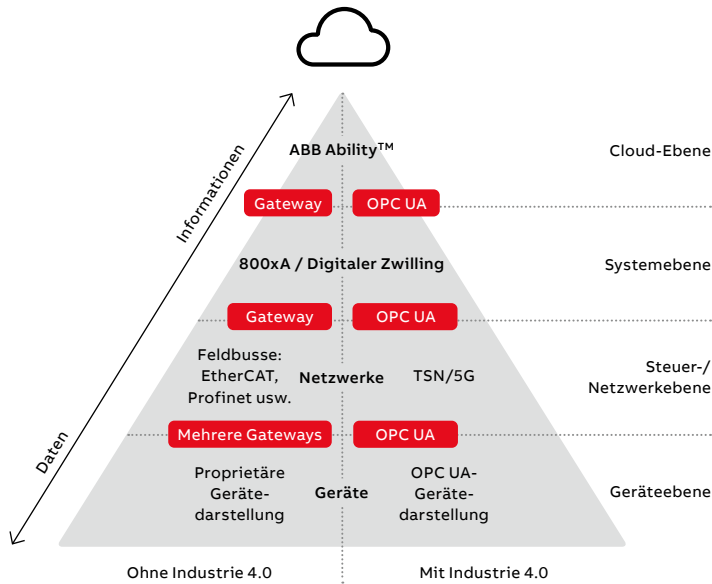
—  
**OPC ist eine standardisierte Software-Schnittstelle, die es Windows-Programmen erlaubt, mit kompatibler industrieller Hardware zu kommunizieren.**

#### **Neue Konzepte in der Industrieautomatisierung**

Die Industrieautomatisierung sieht sich mit einer ganzen Reihe neuer Konzepte wie Datenanalysen, Cloud- und Edge-Computing usw. konfrontiert, in deren Mittelpunkt Informationen und deren Erfassung, Abruf, Darstellung, Verarbeitung und Verteilung stehen.

Prozessrelevante Daten von Geräten, die z. B. an der Produktionslinie einer Fabrik installiert sind, müssen eventuell vorverarbeitet, gefiltert und zur weiteren Darstellung und Analyse in die Cloud übertragen werden. Zurzeit werden Rohdaten aus der Produktion häufig über Feldbustechnologien abgerufen, die sowohl für die Semantik als auch die Übertragung der Daten proprietäre Spezifikationen nutzen. Um auf die Prozessdaten zuzugreifen, benötigt man feldbusspezifische Gateways, die eine Brücke zu den Daten- und Übertragungsformaten schlagen. OPC UA ist jedoch in der Lage, die Informationsmodelle für alle Systemgeräte

zu vereinheitlichen, um einen besseren und transparenten Datenzugriff über TSN als Transportmittel zu ermöglichen →01. Darüber hinaus bietet die Kombination von OPC UA und TSN eine leistungsstarke Semantik zur Darstellung der Geschäftslogik der Geräte sowie eine transparente Client-Server-Kommunikation, die den Fertigungsbereich mit der Cloud verbindet.



01

Ein weiterer positiver Aspekt von OPC UA und TSN ist der Wechsel von einer proprietären in eine standardisierte Welt.

Neben herstellerspezifischen Schnittstellen und Protokollen können sich auf der Ebene der Produktionslinie noch weitere Herausforderungen ergeben. So sind für anspruchsvolle Anwendungen wie z. B. Motion Control eine hohe Leistungsfähigkeit und Determinismus bei der Datenübertragung zwischen Geräten erforderlich. Die Feldbustechnologien, die vor mehreren Jahrzehnten entwickelt wurden, haben Mühe, den heutigen Anforderungen gerecht zu werden. TSN ist nicht nur in der Lage, bestehende Feldbusse



Photo fig. 02: ©istockphoto.com/AleksandarGorjiev

02

—  
01 Automatisierungs-  
pyramide mit und ohne  
Industrie 4.0.

—  
02 OPC UA und TSN  
ermöglichen die Verein-  
heitlichung von Infor-  
mationsmodellen und  
eine deterministische  
Datenübertragung.

leistungsmäßig zu übertreffen [1], sondern ermöglicht auch zukünftiges Wachstum bei der Hochleistungs-Datenübertragung.

Die Anforderung zur Vereinheitlichung komplexer Informationsmodelle einerseits und zur deterministischen Datenübertragung andererseits stellt vorhandene Systemarchitekturen vor eine große Herausforderung. Eine Lösung im Sinne von Industrie 4.0 bieten IIoT-Mechanismen wie OPC UA und IEEE TSN. Während TSN die Datenübertragung auf den unteren Ebenen gewährleistet, kann OPC UA als IIoT-Enabler für übergeordnete Anwendungen dienen. Durch die Kombination beider Technologien lassen sich zwei für die Zukunft der Industrieautomatisierung wesentliche Merkmale bereitstellen: eine schnelle und robuste Datenübertragung und eine Client-Server-Kombination für komplexe Gerätesemantik →02.

—  
**Die Kombination beider Technologien ermöglicht eine schnelle, robuste Datenübertragung und eine Client-Server-Kombination für komplexe Gerätesemantik.**

Ein weiterer positiver Aspekt der Nutzung von OPC UA und TSN ist der Wechsel von einer proprietären und kundenspezifischen in eine vereinheitlichte und standardisierte Welt. Ein offensichtlicher Vorteil ist hier die Vereinheitlichung der Software, Schnittstellen und Zugriffsmodelle über Produktpaletten hinweg. Darüber hinaus ermöglichen OPC UA und TSN die Bündelung von Entwicklungskompetenz zwischen Unternehmen, sodass doppelte oder redundante Expertise in speziellen Bereichen vermieden werden kann.

#### **Nicht alles ganz so einfach**

Trotz der neuen Möglichkeiten und der verbesserten Leistungsfähigkeit, die OPC UA und TSN versprechen, bleiben einige offene Fragen:

- Ist der Markt bereit, proprietäre (aber bekannte) Lösungen hinter sich zu lassen und sich standardisierten und offenen (aber neuen) Lösungen zuzuwenden?
- Wie kann eine reibungslose Evolution der Technologie in das neue Paradigma gewährleistet werden?
- Gibt es TSN- und OPC UA-fähige Pilotlösungen? Und welche Technologien und Strategien sind notwendig, um OPC UA und TSN in ein System einzubinden?

Entscheidet sich ein Systementwickler, Industrie 4.0 anzugehen, sollte dieser zunächst mehrere Fragen beantworten. Zum Beispiel: „Braucht das System wirklich alle Fähigkeiten und Merkmale von OPC UA und TSN?“ Da nicht jede Anwendung eine deterministische Datenübertragung oder eine niedrige Latenz bei der Kommunikation benötigt, wird der Umfang der TSN-Nutzung wahrscheinlich unterschiedlich ausfallen: Für die Interaktion auf der Cloud-Ebene ist für gewöhnlich kein TSN erforderlich. Gleiches gilt in manchen Fällen auch für die Feldsensoren. Genauso benötigen nicht alle Endgeräte eine komplexe Semantik und eine einheitliche Zugänglichkeit der Daten.

Die zweite der drei oben angeführten Fragen bezieht sich auf die Integration von OPC UA und TSN in bestehende Systemdesigns und Managementtools. Hier stellt sich die Frage, welche Mechanismen verwendet werden sollten und wie sie vereinheitlicht werden sollten. Diese Fragen sind angesichts der Diversität von Systemen mit Komponenten verschiedener Hersteller und den entsprechenden Tools alles andere als trivial.

Ist die Entscheidung für die Unterstützung von OPC UA und TSN gefallen, sind die dringendsten Fragen:

- Wo und in welchem Umfang benötigt das System neue Technologien?
- Wie passen OPC UA und TSN in die Systemarchitektur, und wie sollten sie konfiguriert werden?

Hierbei ist zu beachten, dass jedes System am Endgerät beginnt (bzw. endet) und diese allgegenwärtigen Endgeräte häufig nur über begrenzte Ressourcen verfügen. Ursprünglich kam OPC UA nicht in Geräten mit eingeschränkter Rechenleistung, Speicherkapazität oder Stromversorgung zum Einsatz. Außerdem ist für eine vollständige TSN-Unterstützung spezielle Hardware erforderlich, die die Echtzeitfähigkeit sicherstellt. Die Frage ist also, in welchem Umfang ein Endgerät erweitert werden muss, um die neuen Technologien zu unterstützen, und was genau gemacht werden muss, um Endgeräte für Industrie 4.0 und das IIoT vorzubereiten. Das Ausrüsten solcher ressourcenbegrenzter Geräte mit OPC UA und TSN ist möglicherweise der anspruchsvollste Aspekt der Implementierung.

#### **Ausrüstung von ABB-Endgeräten mit OPC UA und TSN**

Bei ABB rüstete ein interdisziplinäres Team drei Endgeräte prototypisch mit OPC UA aus: einen Coriolis Masse-Durchflussmesser vom Typ FCB400, einen Laser-Füllstand-Messumformer vom Typ LLT100 und einen universellen



Motor-Controller vom Typ UMC. Die Implementierung selbst wird in einem zukünftigen Artikel genauer beschrieben.

Die TSN-Implementierung für die drei Prototypen erfolgte im Rahmen der OPC UA-Evaluierung unter Verwendung von Drittanbieter-Hardware für die Infrastruktur. Der Testaufbau umfasst mehrere TSN-Switches (von TTTech), zwei Industrie-PCs und die Prototypen der Endgeräte von ABB →03. Die Konfiguration des Testaufbaus erfolgt mithilfe prototypischer Software, die klassische Befehlszeilentools mit neuer Technologie wie NETCONF (Network Configuration Protocol) und YANG, einer Datenmodellierungssprache, kombiniert.

Mithilfe von Time-Aware Shaping (TAS) ermöglicht die TSN-Switching-Infrastruktur einen Echtzeit-Datenaustausch mit einer Genauigkeit im Mikrosekundenbereich. Ressourcenbegrenzte

Endgeräte sind jedoch häufig nicht in der Lage, die Datenübertragungszeiten an die im Mikrosekunden-Bereich liegenden Übertragungsfenster der TSN-Switches anzupassen. Um die Auswirkungen unter solchen Bedingungen zu untersuchen, wurde dieses Szenario in den ersten Schritten der TSN-Evaluierung genauer betrachtet.

Die Evaluierung hat gezeigt, dass die Latenz des OPC UA-Datenaustauschs erheblich reduziert werden kann.

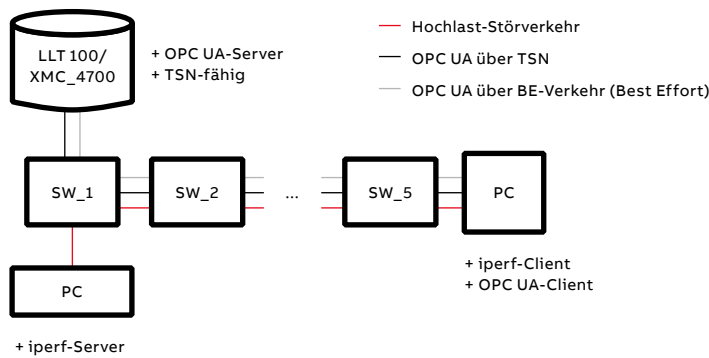
Im Fokus standen dabei Anwendungsanforderungen wie die Dauer der Regelzyklen (1 bis 5 ms) und die Menge der ausgetauschten Daten (typischerweise eine Schreib-Lese-Operation auf mehreren Variablen). In der ersten Phase des Projekts wurden Latenz und Jitter des OPC UA-Verkehrs in Szenarien mit unterschiedlichen Verkehrslasten untersucht. Die Anwendungssynchronisierung und Systemintegration für TSN sind Schwerpunkt der zweiten Projektphase und Gegenstand eines zukünftigen Artikels.

**Ergebnisse und Spin-offs**

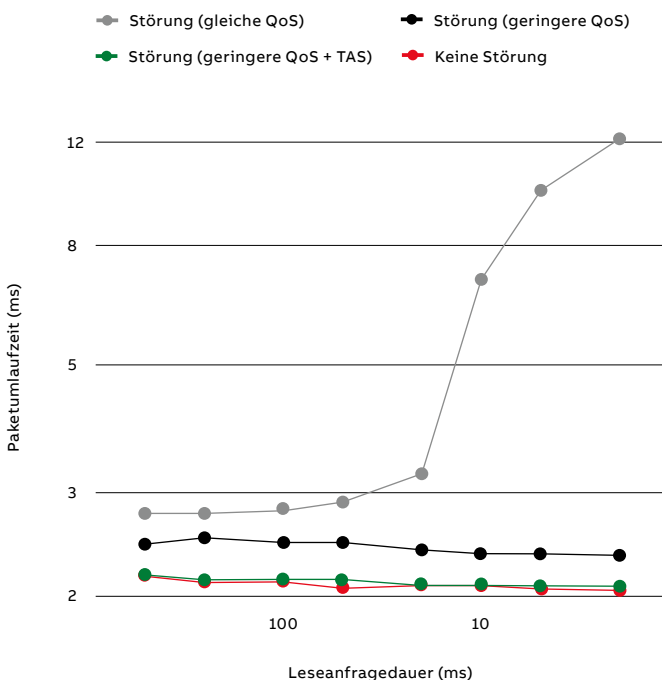
Die Evaluierung der TSN-Implementierung hat gezeigt, dass die Latenz des OPC UA-Datenaustauschs erheblich reduziert und mit einer geringeren Abweichung verbunden werden kann. →04 zeigt den Unterschied in der Latenz für OPA UA-Leseanfragen zum und vom eingebetteten OPC UA-Server (in diesem Fall des LLT100) in einem Netzwerk, in dem 95 % des Durchsatzes durch Störverkehr belegt werden, in Abhängigkeit von der Dienstgüte (Quality of Service, QoS). Es ist deutlich zu erkennen, dass die Latenz durch die Einführung von QoS-Mechanismen trotz des starken Störverkehrs reduziert wird. In TSN-Switches ermöglicht QoS die Einteilung von Nachrichten in acht Prioritätsstufen, um sicherzustellen, dass wichtige Nachrichten zuerst gesendet werden. TSN-Mechanismen wie Time Aware Traffic Shaping (TAS) sorgen für eine weitere Verkürzung und Stabilisierung der OPC UA-Latenz. So trägt schon eine grundlegende TSN-Unterstützung der Software auf dem Endgerät im Zusammenhang mit einer TSN-fähigen Infrastruktur zur Verbesserung des Determinismus beim Datenzugriff bei.

Die im Rahmen des Projekts entwickelten Softwarekonzepte werden in der zweiten Phase der TSN-Einführung weiterentwickelt. Der Schwerpunkt dieser Phase liegt auf der automatisierten Integration von Endgeräten in TSN-fähige Systeme.

03



04



—  
03 Testaufbau für die TSN-Evaluierung. Der Hochlast-Störverkehr wurde mithilfe von Iperf 2.0.5, einem gängigen Tool zum Testen von Netzwerken, erzeugt.

—  
04 Latenz von OPC UA-Leseanfragen bei Störverkehr in TSN-Netzwerken.

—  
05 Industrie 4.0 wird eine entscheidende Rolle für die Zukunft der Industrieautomatisierung spielen. ABB unterstützt die Entwicklung von OPC UA und TSN, die zur Harmonisierung und Standardisierung von Industrie 4.0 beitragen.

Das Forschungsprojekt führte zur Entwicklung von neuen Geräteprototypen mit OPC UA. Tatsächlich hat die Produktentwicklung für einige Zielgeräte bereits begonnen. Darüber hinaus sind im Rahmen des Forschungsprojekts verschiedene Tools und Best Practices für die OPC UA-Einführung entstanden – z. B. ein automatisierter Codegenerator, der die Entwicklungsartefakte (z. B. Gerätebeschreibungsdateien) in C-basierten Programmcode übersetzt, der anschließend kompiliert und zur Verwendung mit einem OPC UA-Server auf das Gerät geladen werden kann. Ein weiteres Beispiel sind die DI-Modellrichtlinien (Device Integration), die Entwicklern aus verschiedenen Bereichen dabei helfen, die Geschäftslogik der Geräte auf standardisierte und funktionale Weise darzustellen.

#### Game-Changer für die Industrieautomatisierung

TSN-fähige Switches, die den geforderten Determinismus bei der Vernetzung gewährleisten, sind bereits auf dem Markt erhältlich. Auch Client-Server-Software für OPC UA steht als integrationsberechtigtes Produkt zur Verfügung. Die für Hochleistungsanwendungen relevante OPC UA-Erweiterung PubSub (Publish-Subscribe) wird in Kürze erwartet. Laut der OPC Foundation [2] erweitert PubSub den Einsatzbereich von OPC UA bis in die untersten Ebenen der Fabrikautomatisierung, wo Controller, Sensoren und eingebettete Systeme in der Regel eine optimierte Kommunikation bei geringem Stromverbrauch und geringer Latenz in lokalen Netzwerken erfordern.

Verschiedene Endgeräte von ABB können bereits heute mit einer grundlegenden TSN-Unterstützung ausgerüstet werden. Eine vollständige TSN-Unterstützung einschließlich Hardware wird in absehbarer Zukunft möglich sein. Die vollständige Systemintegration von TSN ist hingegen größtenteils noch eine offene Frage. Switch-Hersteller streben keine Lösungen für eine vollständige Systemintegration an, sondern fügen eher Zusatzmodule für die Netzkonfiguration hinzu. Automatisierungstechnik-Anbieter und Systemintegratoren wie ABB besitzen das automatisierungstechnische Know-how und verfügen über die Engineering-Tools und das notwendige Wissen, um Entscheidungen zum Umfang der TSN-Nutzung und -Integration zu treffen →05. Aus diesem Grund arbeiten Automatisierungstechnik-Anbieter, Hersteller von Netzwerk-Komponenten und Systemintegratoren weiterhin zusammen an der Entwicklung von Standard-Integrationsmechanismen für TSN, die industrieweit anwendbar sind.



05

—  
Vertreter von ABB sind aktiv an der Standardisierung von OPC UA und TSN beteiligt.

Um als Technologie-Paradigma weithin anerkannt zu werden, müssen die grundlegenden Industrie 4.0-Elemente harmonisiert und standardisiert werden. Aus diesem Grund sind auch Vertreter von ABB aktiv an der Standardisierungsarbeit zieht immer mehr Akteure an, die neue Überlegungen einbringen. Daraus ergeben sich wiederum neue Merkmale, die mit bereits definierten harmonisiert werden müssen. Eine Vereinheitlichung in dieser Größenordnung ist mit erheblichen Anstrengungen verbunden. Es sind jedoch Fortschritte zu verzeichnen, die zunehmend an Bedeutung gewinnen. •

#### Danksagung

Dieser Artikel wäre ohne die Ideen, Arbeit und den Einsatz des gesamten Projektteams nicht möglich gewesen. Besonderer Dank gebührt Francisco Mendoza, Roland Braun, Philipp Bauer und Thomas Gamer.

#### Literaturhinweise

[1] D. Bruckner et al.: „OPC UA TSN A new Solution for Industrial Communication“. WEKA Fachmedien. Verfügbar unter: [https://cdn.weka-fachmedien.de/whitepaper/files/OPC\\_UA\\_TSN\\_-\\_A\\_new\\_Solution\\_for\\_Industrial\\_Communication.pdf](https://cdn.weka-fachmedien.de/whitepaper/files/OPC_UA_TSN_-_A_new_Solution_for_Industrial_Communication.pdf) (abgerufen am 03.12.19).

[2] OPC Foundation: „OPC Foundation announces OPC UA PubSub release as important extension of OPC UA communication platform“. Verfügbar unter: <https://opcfoundation.org/news/press-releases/opc-foundation-announces-opc-ua-pub-sub-release-important-extension-opc-ua-communication-platform> (abgerufen am 03.12.19).