



## TIME-SENSITIVE NETWORKING (TSN)

Rasch wachsende Netzwerkgrößen und Datenmengen im industriellen Internet der Dinge bringen bestehende, oft proprietäre Netzwerkprotokolle an ihre Grenzen. Als offenes Kommunikationsprotokoll ermöglicht OPC UA eine vollständig durchgängige und transparente Kommunikation vom Sensor bis in die Cloud. Durch die Erweiterung um die Echtzeitfähigkeit von TSN ermöglicht das Protokoll das Verschmelzen von IT und OT zu einem gemeinsamen Netzwerk und bildet so die Grundlage für sämtliche Anwendungen im IIoT.

Das offene und echtzeitfähige Protokoll OPC UA over TSN ermöglicht eine Standard-konforme und herstellerunabhängige Vernetzung von Maschinen und Anlagen über ein einheitliches Protokoll für Echtzeitanforderungen in Smart Factories.



AUTOMATISIERUNG IM WANDEL	// 3
KOMMUNIKATIONSBEDARF VON INDUSTRIE 4.0	// 4
HERSTELLERÜBERGREIFENDE KOMMUNIKATION	// 4
WAS KANN TSN?	// 5
EINE NEUE WELTSPRACHE	// 7
EINHEITLICHER ECHTZEIT-STANDARD	// 7
VORTEILE UND NUTZEN VON TSN IM ÜBERBLICK	// 7

## ▶ AUTOMATISIERUNG IM WANDEL

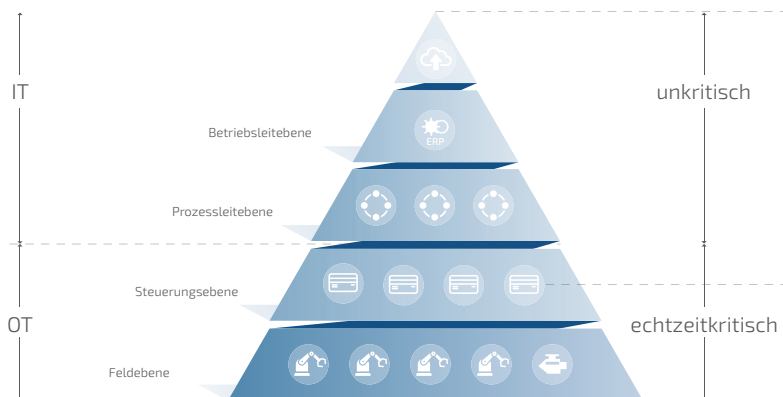
Anlässlich der Hannover Messe 2011 wurde dereinst nicht weniger als die vierte industrielle Revolution ausgerufen. Um die Ziele von Industrie 4.0 zu erreichen, muss sich die Produktion agil und dynamisch auf veränderte Anforderungen einstellen. Das macht eine Kommunikation aller Teile der Anlagenautomatisierung mit anderen Systemen im Unternehmen auf vielen Ebenen erforderlich.

### Babylonische Sprachverwirrung

Die ersten Computernetzwerke wurden geschaffen, um Arbeitsplatz-Computer in Büroumgebungen miteinander zu verbinden. Ende der 1980er Jahre setzte sich in diesem Bereich Ethernet als De-Facto-Standard durch. Ab Ende der Neunzigerjahre begannen Steuerungshersteller, Ethernet für industrielle Anwendungen nutzbar zu machen. Allerdings musste das für Büroumgebungen entwickelte System erst industrietauglich gemacht werden. Vor allem benötigen manche Anwendungen ein determinierbares Echtzeitverhalten mit isochronen Zykluszeiten unter einer Millisekunde.

Standard-Ethernet erfüllt diese Kriterien nicht, da es ein berechenbares Zeitverhalten nicht unter allen Umständen garantiert. Daher mussten für industrielle Anwendungen über den physikalischen Ethernet-Layer gelegte Protokolle zur Steuerung der Kommunikation zwischen den einzelnen Geräten entwickelt werden. Aufgrund unterschiedlicher Anwendungsschwerpunkte und Philosophien der entwickelnden Unternehmen entstand unter dem gemeinsamen Begriff Industrial Ethernet eine Fülle verschiedener Systeme. Diese weichen vom Ethernet-Standard ab und sind nicht miteinander kompatibel. Das führte zu Frust bei Komponentenherstellern, die für ihre Produkte mit großem Aufwand zahlreiche Varianten schaffen mussten; und bei Anwendern, die Maschinen und Geräte unterschiedlicher Provenienz nicht freizügig miteinander betreiben konnten.

Die klassische Automatisierungspyramide hat ausgedient und wird durch eine flexible Vernetzung intelligenter Geräte im OT-Bereich und der bestehenden IT im Rahmen von Industrie 4.0 ersetzt. Das verlangt nach einem herstellernerutralen, einheitlichen und echtzeitfähigen Kommunikationsstandard mit hoher Datenübertragungsbandbreite und Sicherheit.



## KOMMUNIKATIONSBEDARF VON INDUSTRIE 4.0

Auf Ethernet basierende Feldbussysteme ermöglichen die schnelle Übertragung großer Datenmengen und damit sehr reichhaltiger Informationen. So werden mittlerweile beispielsweise auch Bild- und Vibrationsdaten über das gemeinsame Netzwerk übertragen. Auch werden in heutigen, modularen Anlagenkonzepten die sicherheitsgerichteten Daten für den Personenschutz nicht mehr auf eigenen Leitungen übertragen. Sie durchtunneln als anonyme Querverkehrs-Datenpakete per „Black-Channel-Technik“ das Netzwerk.

Rechenleistung und Speicher sind heute beinahe unbegrenzt verfügbar und im Maschinen- und Anlagenbau kein bestimmender Kostenfaktor mehr. Die Rechnerarchitekturen zur dezentralen Installation im Feld, einschließlich derjenigen in Bedienkonsolen und Antriebsreglern, im Leitstand, im Serverraum und in der Cloud sind im Kern dieselben wie im Büro. Dadurch ist die vormals starre Einteilung in Steuerrechner und „dumme“ Peripherie aufgebrochen, selbst Sensoren und Aktoren mit recht eng umrissenen Aufgaben sind häufig mit eigenen Prozessoren ausgestattet.

## HERSTELLERÜBERGREIFENDE KOMMUNIKATION

Mit dem Ziel, eine herstellerübergreifende Kommunikation der Geräte untereinander zu ermöglichen, entstanden einige – oft branchenspezifische – Protokolle. In erster Linie für den Informationsaustausch zwischen Medizingeräten und den darüberliegenden medizinischen Informationssystemen in Krankenhäusern definiert die Normenfamilie IEEE 11073 Service-oriented Device Connectivity (SDC) ein Kommunikationsprotokoll, das auf dem Paradigma der serviceorientierten Architektur (SOA) basiert.

Im Bereich der industriellen Automatisierung existiert seit 2006 mit Open Platform Communication Unified Architecture (OPC UA) nach IEC 62541 ein industrielles Kommunikationsprotokoll, mit dem sich Maschinendaten maschinenlesbar semantisch beschreiben lassen. OPC UA verdankt seine hohe Popularität und rasche Verbreitung neben echter Herstellerunabhängigkeit und inhärenter

Security einem integrierten Vorstellungsmechanismus. Damit lassen sich neue und bis dahin unbekannte Geräte später ins Netzwerk bringen, ohne dies von vornherein in Programm oder Konfiguration berücksichtigen zu müssen. Das macht Produktionsanlagen zukunftssicher, denn es reduziert erheblich den Aufwand für Teilmodernisierungen. Ebenso es ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, Produktionsmaschinen für Plug & Produce ähnlich einfach wie bei Bürogeräten mit Plug & Play zusammenzustellen.

## Überwindung bisheriger Kompatibilitätsmängel

Allerdings verfügt OPC UA nicht über ein deterministisches Zeitverhalten, sodass es sich nicht für die Übertragung von Echtzeitdaten innerhalb synchronisierter Anlagenteile eignet. Für den Datenaustausch zwischen Steuerungen führte die OPC Foundation daher das schnelle Kommunikationsmodell Publisher-Subscriber (Pub/Sub) ein. Der OPC UA Pub/Sub Standard ermöglicht Geräten, Information allen anderen Kommunikationsteilnehmern im Netzwerk zur Verfügung zu stellen, ohne vorab einen bidirektionalen Kommunikationspfad mit den Empfängern zu etablieren. Dabei sendet ein Publisher (Herausgeber) Daten zur Verteilung an Subscriber (Abonnenten) in das Netzwerk. Bereits der kontinuierliche Versand, ohne zwischen einzelnen Nachrichten Antworten der Empfänger abzuwarten, bringt eine erhebliche Beschleunigung.

Die Fähigkeit zu einem deterministischen, harten Echtzeitverhalten entsteht jedoch erst durch eine einheitliche Zeitbasis, wie sie das IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) im Ethernet-Standard Time Sensitive Networking (TSN) definiert hat. Letztlich ermöglicht erst die Kombination von OPC UA PubSub mit der Kommunikationstechnologie TSN das Realisieren echtzeitfähiger Anwendungen im industriellen Umfeld auf Basis allgemein verfügbarer Standards.

Auf der Messe SPS IPC Drives 2018 in Nürnberg stellte die OPC Foundation ‚OPC UA including TSN down to field level‘ als universelle, echtzeitfähige Kommunikationsplattform bis zur Sensorebene vor. Sie legte damit den Grundstein zur Überwindung der bisherigen Kompatibilitätsmängel mit einem einzigen, weltweit einheitlichen Standard.

## WAS KANN TSN?

TSN ist eine Erweiterung des Ethernet-Standards um standardisierte Echtzeit-Mechanismen. Im Zusammenspiel mit Gigabit-Switches erlaubt es einen deterministischen Datenaustausch. Ein ganzes Bündel an Normen regelt das Übertragungsverhalten von Datenpaketen auf verschiedene Weise (siehe Tabelle auf Seite 6). Mit einer Vielzahl von Verbesserungen des ursprünglichen Standards IEEE 802.3 macht TSN Ethernet echtzeitfähig. Dazu verfügt es über drei Kernfähigkeiten, deren Zusammenspiel eine Echtzeitkommunikation unter Verwendung von Standard-Ethernet-Komponenten ermöglicht:

### Zeitsynchronisation

Grundvoraussetzung für den Einsatz von TSN in der industriellen Echtzeitkommunikation ist die Zeitsynchronisation nach 802.1AS-2020. Dieser TSN-Unterstandard enthält Definitionen des Precision Time Protocols (PTP) gemäß IEEE 1588-2008, das dafür sorgt, dass alle Geräte-Uhren im Netzwerk synchron sind. Die in Testaufbauten erzielte Abweichung beträgt weniger als 100 Nanosekunden.

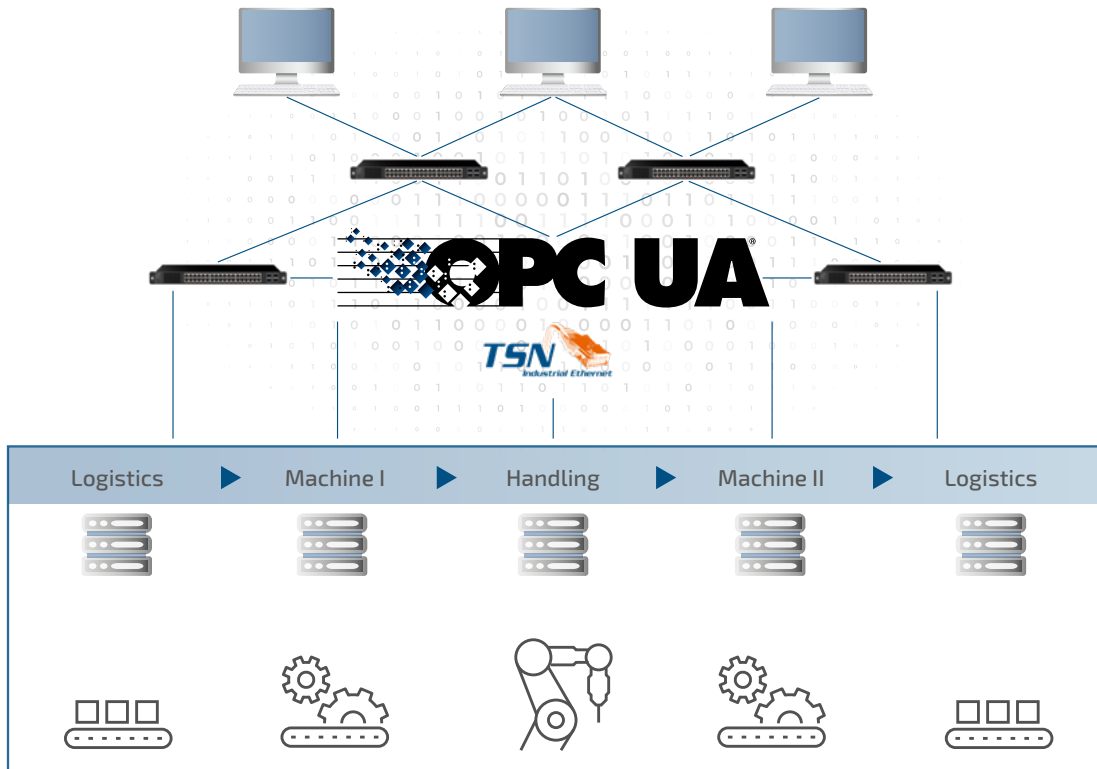
### Traffic Scheduling

Die zweite Kernfähigkeit von TSN ist das Traffic Scheduling, die gezielte Steuerung von Datenpaketen/Frames nach IEEE 802.1Qbv. Ein sogenannter Time-Aware Scheduler sorgt dafür, dass zeitkritische Daten immer Vorfahrt haben und nicht durch allgemeinen Datenverkehr gebremst werden. Damit bleibt die Funktion auch extrem zeitkritischer Synchronisiervorgänge – etwa zwischen Werkzeugmaschinen, Track-Systemen und Robotern – auch dann gewährleistet, wenn z.B. umfangreiche Bilddaten übertragen werden; und sogar dann, wenn Switches im Netzwerk überlastet sind.

### Dynamische Konfiguration

Die dritte Kernfähigkeit ist die unter IEEE 802.1Qcc definierte automatisierte dynamische Systemkonfiguration (System Configuration). Kommt ein neues Gerät ins Netzwerk, meldet es sich beim zentralen Netzwerkkonfigurator, dem sogenannten Central Network Configurator (CNC), an. Dieser baut die Kommunikationsbeziehung zu den anderen Geräten mit den gemeldeten Anforderungen auf und konfiguriert das Netz passend dazu um.

Als weitere Norm spezifiziert die IEC/IEEE 60802 TSN-Geräteprofile speziell für die industrielle Automatisierung.



// OPC UA over TSN als herstellernerutraler industrieller Kommunikations-Standard ermöglicht die volle Datendurchgängigkeit von der Chefetage bis zur Feldebene als Voraussetzung für Industrie 4.0.

## ► ÜBERBLICK TSN-STANDARDS

NORM	TITEL
IEEE 802.1AS-Rev	Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications
IEEE 802.1Qav	Forwarding and Queuing Enhancements for Time-Sensitive Streams
IEEE 802.1Qbu, IEEE 802.3br	Frame Preemption
IEEE 802.1Qbv	Enhancements for Scheduled Traffic
IEEE 802.1Qca	Path Control and Reservation
IEEE 802.1Qcc	Stream Reservation Protocol (SRP) Enhancements and Performance Improvements
IEEE 802.1Qci	Per-Stream Filtering and Policing
IEEE 802.1CB	Frame Replication Elimination for Reliability; Seamless Redundancy

## ► TECHNISCHE DETAILS TSN STARTERKIT

NORM	TITEL
SYSTEM	KBox C-102-2 industrial computer with PCIe-0400-TSN network card Realtime Linux + Tools
PROCESSOR	Intel® Core™ i5 processor: Quad-Core 1.9 GHz, 4 GByte RAM, 128 GByte SSD
TSN NETWORK CARD	PCIe, 4 Ethernet 10/100/1000Mbps ports
FPGA NETWORK CARD	Intel® Cyclone® V, field-upgradable
SWITCH OPERATION	Cut-Through, Store-and-Forward
SUPPORT	Linux Kernel device drivers, TSN software stacks
VERIFIED OS	Linux
RoHS COMPLIANT	yes

## EINE NEUE WELTSPRACHE

Die herstellerunabhängige Kommunikationslösung OPC UA over TSN deckt alle wesentlichen Anwendungen ab, die derzeit mit den verschiedenen Industrial-Ethernet-Protokollen ausgeführt werden. Als universelle, echtzeitfähige Plattform für eine vollständig durchgängige und transparente Kommunikation von der Sensorebene bis zur Cloud schafft sie die Voraussetzungen für die Interoperabilität aller Systeme. Dadurch können IT- und OT-Netzwerke auf einem gemeinsamen, konvergenten Transportnetz für sämtliche Anwendungen im Industrial IoT verschmelzen.

Die Technologie ermöglicht Plug & Produce-fähige Netzwerke mit mehreren 10.000 Knoten, die sich einfach administrieren und konfigurieren lassen. Dabei können die Netzwerkteilnehmer erheblich schneller kommunizieren als mit allen bisherigen Protokollen. Das eröffnet unter anderem neue Möglichkeiten im Bereich hochsynchroner Antriebsapplikationen und Steuerungsaufgaben.

### Sicher und offen

Die Vernetzung von Maschinen mit Cloud-basierten Serversystemen erfordert ein hohes Maß an Sicherheit. OPC UA over TSN bietet die Möglichkeit, das Netzwerk herstellerübergreifend abzusichern. Für den sicheren und vertrauenswürdigen Austausch von Daten können bei OPC UA over TSN digitale Zertifikate nach dem Standard X.509 eingesetzt werden.

Da sowohl OPC UA als auch die Ethernet-Erweiterung TSN von unabhängigen Organisationen verwaltet und weiterentwickelt werden, handelt es sich bei OPC UA over TSN um ein vollständig herstellerunabhängiges Protokoll. Dessen Softwareimplementierungen sind quelloffen und werden unter anderem vom Open Source Automation Development Lab (OSADL) verwaltet und getestet. So sind Systemintegratoren und Anwender hinsichtlich der Kommunikation nicht mehr von einzelnen Anbietern abhängig. Sie profitieren von der Teilnahme führender unabhängiger Experten an den demokratisierten Entwicklungs- und Qualitätssicherungsaktivitäten und den damit einhergehenden kontinuierlichen Verbesserungsprozessen.

### EINHEITLICHER ECHTZEIT-STANDARD

TSN setzt sich rasch als einheitlicher Standard für die Echtzeit-Datenkommunikation durch. Dazu trägt auch die Integration der TSN-Funktionalität in Halbleitern zahlreicher Hersteller bei. Diese ermöglichen wiederum Anbietern von PC-Boards und Geräten, diese aufpreisfrei mit dieser Technologie auszustatten. Den Einstieg erleichtern zudem Angebote wie ein Starterkit für Time Sensitive Networking, das der deutsche Hersteller Kontron als früher TSN-Proponent bereits im April 2018 auf den Markt gebracht hat.



Das Kontron TSN-Starterkit ermöglicht Konfiguration und Monitoring von TSN-Netzwerken. Mit einer PCI Express® Karte und passender Software können IPCs für TSN nachgerüstet werden.

Der Starterkit Box-PC aus Kontrons KBox C-Serie basiert auf aktueller Intel® Core™-Prozessortechnologie. Die integrierte TSN-fähige PCIe®-Karte enthält zusätzlich ein Intel® FPGA-Device.

Da sich Endgeräte ohne TSN-Fähigkeit problemlos auch über TSN-Netzwerke betreiben lassen, kann davon ausgegangen werden, dass künftig TSN-Funktionen in allen Ethernet-Switch Produkten verfügbar sein werden und Ethernet damit Echtzeitfähigkeit standardmäßig unterstützen wird.

### FAZIT: VORTEILE UND NUTZEN VON TSN IM ÜBERBLICK

TSN bietet gegenüber dem klassischen Ethernet zahlreiche Vorteile:

- ▶ Weitgehende Unabhängigkeit von der physikalischen Übertragungsschicht, daher Anwendbarkeit auch über bestimmte Wireless Verbindungen wie z.B. 5G
- ▶ Garantierte Latenzzeiten von echtzeitkritischen Daten durch das gesamte Netzwerk
- ▶ Kritischer und unkritischer Datenverkehr kann über ein konvergentes Netzwerk übertragen werden
- ▶ Höher liegende Protokollschichten können eine gemeinsame Netzwerkinfrastruktur nutzen
- ▶ Echtzeitsteuerung kann auch außerhalb des OT-Bereichs angewandt werden
- ▶ Keine Herstellerabhängigkeit bei Kommunikationssystemen

## About Kontron – Member of the S&T Group

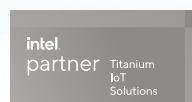
Kontron is a global leader in IoT/Embedded Computing Technology (ECT). As part of the S&T technology group, Kontron offers individual solutions in the areas of Internet of Things (IoT) and Industry 4.0 through a combined portfolio of hardware, software and services. With its standard and customized products based on highly reliable state-of-the-art technologies, Kontron provides secure and innovative applications for a wide variety of industries. As a result, customers benefit from accelerated time-to-market, lower total cost of ownership, extended product lifecycles and the best fully integrated applications.

For more information, please visit: [www.kontron.com](http://www.kontron.com)

## About the Intel® Partner Alliance

From modular components to market-ready systems, Intel and the over 1,000 global member companies of the Intel® Partner Alliance provide scalable, interoperable solutions that accelerate deployment of intelligent devices and end-to-end analytics. Close collaboration with Intel and each other enables Alliance members to innovate with the latest IoT technologies, helping developers deliver first-in-market solutions.

Intel and Atom are registered trademarks of Intel Corporation in the U.S. and other countries.



## GLOBAL HEADQUARTERS

### Kontron Europe GmbH

Gutenbergstraße 2  
85737 Ismaning, Germany  
Tel.: +49 821 4086-0  
Fax: +49 821 4086-111  
[info@kontron.com](mailto:info@kontron.com)

[www.kontron.com](http://www.kontron.com)