

# Time-Sensitive Networking (TSN) – Zeit zum Handeln

Warum TSN heute Teil Ihrer Unternehmensstrategie sein sollte





# Vorwort

von **Jordon Woods**, Strategic Technologist for the Industrial Ethernet Technology Group bei Analog Devices. Analog Devices ist ein Vorstandsmitglied der CLPA.

## Die Vision der vernetzten Smart Factory

Die Industrie steht weltweit vor einer Reihe universeller Herausforderungen. Die Endanwender wenden sich an die Hersteller von Automatisierungstechnik, damit deren Systeme und Technologien Lösungen zu diesen Herausforderungen anbieten können. Ob Connected Industries, Smart Factory, Industrie 4.0<sup>[1]</sup> oder Industrial Internet of Things (IIoT); wie auch immer die Ideallösung heißen soll, bei diesen Herausforderungen geht es im Wesentlichen um:

1. Gewährleistung gleichbleibender Qualität und Performance an allen Standorten weltweit
2. Anpassung der Produktion an die Nachfrage, um Materialeinsatz und Anlagenausnutzung zu optimieren
3. Compliance und bessere Einhaltung gesetzlicher Vorschriften
4. Flexiblere und agilere Fertigungsabläufe, um auf sich schnell ändernde Marktbedingungen reagieren zu können
5. Erfüllung anspruchsvoller Vorgaben und Kennzahlen für pünktliche Lieferung durch kürzere MTTR (Mean Time to Repair) und höhere Gesamtanlageneffektivität (GAE)
6. Senkung der Kosten für Entwicklung, Bereitstellung und Support von Fertigungs- und IT-Systemen an den Fertigungsstandorten in aller Welt
7. Bessere Reaktion auf Ereignisse der Feldebene, unabhängig vom Standort

Was die geradlinige Verfolgung dieser herausfordernden Ziele behindert, ist die Unfähigkeit der vorhandenen industriellen Netzwerksysteme, Daten zwischen verschiedenen Systemen auszutauschen. Diese Einschränkung führt zu „Dateninseln“ und verhindert somit einen effektiven Informationsaustausch.

Der Schlüssel zur Lösung liegt darin, die Daten besser zugänglich zu machen. Anders ausgedrückt: die Hersteller von so genannten „Industrial Automation and Control Systems“ (IACSs) und ihre Kunden erkennen den Wert der in ihren Fabriken generierten Daten und verlangen daher einen einfachen und nahtlosen Datenzugriff. Ein wesentlicher Ansatzpunkt für Lösungen zu den genannten Herausforderungen ist Transparenz, wie sie Industrie 4.0-Anwendungen fordern.

Terabytes von Produktionsdaten müssen in gewinnbringende Informationen gewandelt werden. Dies ist Teil der Industrie 4.0-Strategie.

Was aber viel bedeutender ist: Eine lösungsorientierte Kompletarchitektur, die auf IT/OT-Konvergenz und die Fähigkeit ausgerichtet ist, Daten aus der Fertigung nahtlos zu integrieren und in aussagekräftige Informationen umzuwandeln, die dann unternehmensweit zur Verfügung stehen. Somit lassen sich konkrete Aufgabenstellungen im Unternehmen lösen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Übersicht</b> .....	5
<b>Kapitel 1: Was ist TSN, wie funktioniert es und warum ist es wichtig?</b> .....	6
Die Grundlagen .....	6
TSN-Standards .....	8
1. IEEE 802.1AS – Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications (Zeitsynchronisation) .....	8
2. IEEE 802.1Qbv – Enhancements for Scheduled Traffic (Scheduler) .....	9
3. Weitere IEEE 802.1-Standards .....	10
4. Weiterentwicklung der TSN-Standards .....	10
5. Die Bedeutung der Bandbreite .....	11
<b>Kapitel 2: Vorteile von TSN</b> .....	12
TSN kann Standard-Ethernet deterministisch machen und damit die Voraussetzungen für Konvergenz schaffen. ....	12
Die Vorteile konvergierter Netzwerke .....	12
Die wirtschaftlichen Vorteile .....	13
1. Einfachere Netzwerk-/Maschinenarchitekturen	
2. Größere Prozesstransparenz und besseres Management	
3. Höhere Produktivität	
4. Bessere Integration von OT- und IT-Systemen	
<b>Kapitel 3: Was TSN kann und was nicht</b> .....	14
TSN ist eine „Traffic Pipe“	
<b>Kapitel 4: TSN: Zeit zum Handeln</b> .....	15
<b>Schlussfolgerungen</b> .....	17
<b>Über die Autoren/Kontakt</b> .....	18
<b>Quellenangaben</b> .....	19
<b>Kontaktinformationen</b> .....	20

# Übersicht

Industrie 4.0 ist nicht mehr neu und für viele Unternehmen inzwischen zu einem strategischen Schwerpunkt geworden. In diesem Whitepaper betrachten wir die Anwendung von Industrie 4.0 auf die Kommunikation in industriellen Prozessen. Um die erforderliche Prozesstransparenz zu gewährleisten, müssen hierfür unterschiedliche industrielle Ethernet-Protokolle und allgemeine Informationsprotokolle im selben Netzwerk ausgeführt werden.

Hinter der Umsetzung von Industrie 4.0 steht auf Seiten der Anwender von „Industrial Automation and Control Systems“ (IACSs) die Notwendigkeit, die Wettbewerbsfähigkeit durch Optimierung ihrer Betriebsabläufe zu verbessern. Konkret bieten Industrie 4.0-Lösungen eine höhere Prozesstransparenz, wodurch die Unternehmen ihre Aktivitäten besser lenken können.

Transparenz bedeutet, alle möglichen bereitstehenden Produktionsdaten zu verwenden, diese aus Prozessen direkt zu bekommen, zu analysieren, um dann aussagekräftige Informationen daraus zu gewinnen. Diese Informationen ermöglichen dann einen umfassenden und tiefgreifenden Einblick in das Geschehen der Fertigung. Es ist offensichtlich, dass man Prozesse zunächst analysieren muss, bevor man sie gezielt steuern und optimieren kann.

Dieser Notwendigkeit, Prozessinformationen zu extrahieren, hat das „industrielle Internet der Dinge“ (Industrial Internet of Things, IIoT) seine Existenz zu verdanken, denn es schafft die Voraussetzungen für die effiziente Erzeugung, Erfassung, Weitergabe und Analyse von Daten. Der Grundgedanke ist derselbe wie beim Internet der Dinge (Internet of Things, IoT), wobei hier physische Produktionsmittel, wie Sensoren und Aktoren, mit Controllern und übergeordneten Systemen verbunden werden, die sie überwachen, steuern und verwalten.

In der Praxis ist das IIoT die Spezialisierung des IoT für industrielle Bereiche wie z. B. die Fertigung. Das Resultat ist ein Ökosystem vernetzter Sensorik, Aktorik, Maschinen und Menschen. Hiermit wird ein detaillierter Überblick über Vorgänge geschaffen und die Kontrolle aller Produktionsvariablen ermöglicht. Das IoT und IIoT unterscheiden sich allerdings nicht nur in ihren Anwendungsbereichen, sondern auch in ihrer Leistungsfähigkeit. So wurde das IIoT für in hohem Maße zeitkritische Prozesse, wie z. B. Highspeed-Verpackungsmaschinen, entwickelt. Dabei muss die Datenvernetzung der Komponenten untereinander, wie höchst sensibler, sehr präziser Sensoren mit komplexen, innovativen Steuerungen und Analysesystemen, eine extrem zuverlässige und vorhersehbare Kommunikation gewährleisten. In ihrer Gesamtheit werden diese Eigenschaften als „Determinismus“ bezeichnet – eine wesentliche Voraussetzung für Industrial-Ethernet-Anwendungen.

Während das IIoT eine effektive Technologieplattform für Industrie 4.0-Anwendungen darstellt, benötigt es seinerseits ein geeignetes, deterministisches Netzwerk zur Nutzung gemeinsamer Prozessdaten. Diese Transparenz setzt Konvergenz voraus, d. h. verschiedene Arten von Datenverkehr in einem Netzwerk zusammenzuführen. Determinismus ist dafür die Voraussetzung.

Time-Sensitive Networking (TSN) ist die Technologie, der sich die Automatisierungswelt mit diesem Konvergenzbedarf zuwendet.

# Kapitel 1: Was ist TSN, wie funktioniert es und warum ist es wichtig?

## Die Grundlagen

TSN ist eine Erweiterung des Standard-Ethernets, die die Datenkommunikation in Schicht 2 (Sicherungsschicht bzw. Data Link Layer) des OSI-Referenzmodells regelt. Im Wesentlichen geht es darum, Standard-Ethernet deterministisch zu machen. Hierdurch werden auch die Grundlagen dafür gelegt, dass unterschiedliche Arten von Datenverkehr dasselbe Netzwerk nutzen können – Voraussetzung für Konvergenz.

Konkret ermöglicht TSN die genaue Kenntnis der Zeit, die der Datenverkehr in einem Netzwerk benötigt, sowie der Verzögerungen („Latenz“) und Schwankungen der Übertragungszeit („Jitter“). Latenz und Jitter waren wesentliche Gründe dafür, dass Ethernet sich im industriellen Bereich nur vergleichsweise langsam durchsetzen konnte. Schließlich kann die IT-Welt weitaus toleranter mit Latenz und Jitter umgehen, als es für die meisten industriellen Prozesse möglich wäre. Da Ethernet ursprünglich nicht garantieren konnte, wann bestimmte Ereignisse eintreten würden (ein Mangel an Determinismus), war es für viele Maschinenanwendungen ungeeignet, wo unzureichender Determinismus mindere Qualität oder gar Maschinenschäden verursacht.

Einige offene Kommunikationsprotokolle, wie z. B. CC-Link IE, boten Lösungen für diese Herausforderungen und werden in Kombination mit TSN auch künftig grundlegende Funktionen für Industrie 4.0 bereitstellen.

Determinismus ist von größter Bedeutung für industrielle Automatisierungsanwendungen, in denen Prozessereignisse mit höchster Präzision gesteuert werden müssen, beispielsweise bei geregelten Highspeed-Motion-Control-Anwendungen. In diesen Fällen ist die berechenbare und zuverlässige Verfügbarkeit von Informationen in Echtzeit entscheidend für die Aufrechterhaltung des Systembetriebs.

SCHICHT	OSI-MODELL
7	ANWENDUNG (APPLICATION)
6	DARSTELLUNG (PRESENTATION)
5	KOMMUNIKATION (SESSION)
4	TRANSPORT (TRANSPORT)
3	VERMITTLUNG (NETWORK)
<b>2</b>	<b>SICHERUNG (DATA-LINK)</b>
1	BITÜBERTRAGUNG (PHYSICAL)

Abbildung 1 Die TSN-Technologie ist in der Schicht 2 des 7-schichtigen OSI-Referenzmodells angesiedelt und wird durch die Norm ISO/IEC 7498 definiert.



Druckmaschinen benötigen sehr hohe Datengeschwindigkeiten, Genauigkeiten und absolute Präzision. Diese Anforderungen werden von der deterministischen Kommunikation erfüllt. [iStock/narvikk]

Druckmaschinen produzieren zum Beispiel Tausende identischer Druckerzeugnisse pro Stunde, wobei die Druckqualität nur durch eine äußerst präzise Passung der einzelnen Prozessfarben zu gewährleisten ist. Auch die meisten Verpackungslinien produzieren pro Stunde Stückzahlen, die in die Tausende gehen – mit minimalem Ausschuss. Moderne Werkzeugmaschinen kombinieren Highspeed-Bearbeitung mit Präzision im Nanometerbereich. Damit all diese Systeme die erforderliche Leistung und das verlangte Qualitätsniveau liefern können, muss die Steuerung – d. h. die Übertragung aller relevanten Daten – konsequent innerhalb festgelegter Zeitfenster stattfinden.

Obwohl Determinismus elementar ist, darf man aber nicht davon ausgehen, dass wir mit TSN jetzt alles haben, was wir für Industrie 4.0 brauchen. TSN ist nur die Basis für umfassende Konvergenz. Bei früheren offenen industriellen Ethernet-Protokollen hatten wir bereits die Möglichkeit, verschiedene Arten von Datenverkehr zu mischen. Allerdings ging es dabei im Allgemeinen nur um Aufgaben der Maschinensteuerung – E/A-Daten, Safety und Motion Control. Andere Datenarten miteinzubinden, z. B. Videobilder eines Bildverarbeitungssystems über TCP/IP, war im Allgemeinen nicht möglich.

Während diese Protokolle also eine Möglichkeit boten, Ethernet für industrielle Anwendungen deterministisch zu machen und das hervorbrachten, was wir heute als „Industrial Ethernet“ bezeichnen, boten sie jedoch keinen Lösungsansatz im Hinblick auf die Konvergenz. Mit dem gegenwärtigen Trend zu TSN scheint dieses fehlende Puzzlestück nun endlich gefunden zu sein. Wir werden sehen, wie TSN die erforderlichen Mechanismen für die Koexistenz aller Arten von Datenverkehr im selben Netzwerk bereitstellt und somit endlich die notwendige Konvergenz für die von Industrie 4.0 geforderte Transparenz ermöglicht.

## TSN-Standards

TSN wird durch die IEEE 802.1-Ethernet-Spezifikationen<sup>[2]</sup> definiert. Hier werden unter anderem Zeitsynchronisation und Priorisierung des Datenflusses festgelegt und somit die entscheidenden Merkmale für deterministische Funktionen geschaffen und folglich Konvergenz ermöglicht.

### 1. IEEE 802.1AS – Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications (Zeitsynchronisation)

Zeitsynchronisation<sup>[3]</sup> ist die Grundvoraussetzung für Determinismus, da sie sicherstellt, dass sich alle Geräte in einem Netzwerk nach derselben Uhr richten. Ist es beispielsweise 10:00 Uhr morgens, „wissen“ das alle Geräte im Netzwerk, und ihre Aktionen werden anhand derselben Uhr synchronisiert. So lässt sich die Wahrscheinlichkeit von Zeitverschiebungen minimieren, die zu Verzögerungen und Schwankungen (Latenz und Jitter) bei der Datenübertragung führen können, und die pünktliche, berechenbare Übertragung von kritischem Datenverkehr wird möglich. Um diese Fähigkeit zu implementieren, lehnt sich die IEEE 802.1AS an das Precision Time Protocol (PTP)<sup>[4]</sup> nach IEEE 1588 an.

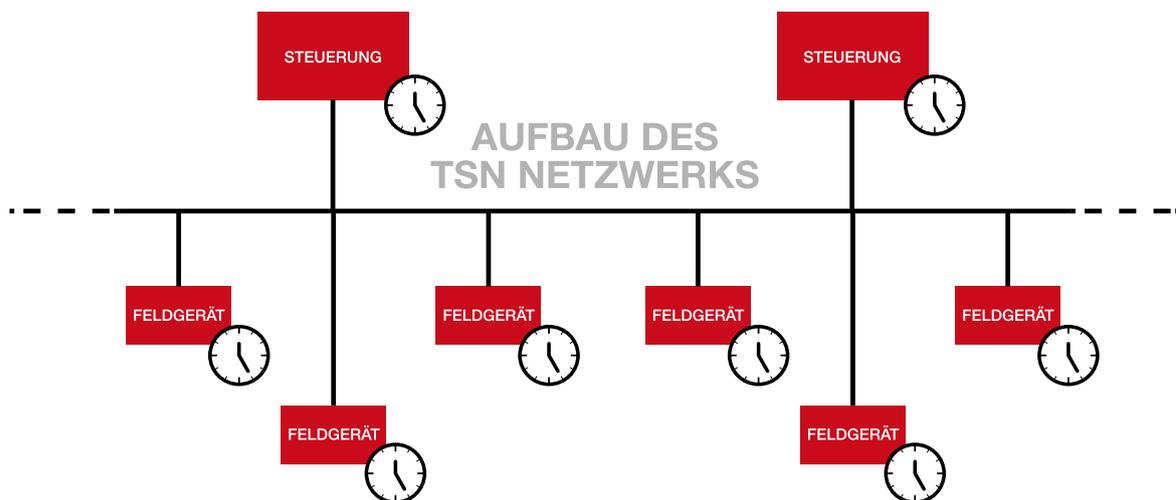


Abbildung 2 - Durch die Verwendung der IEEE 802.1AS erhalten alle Geräte im Netzwerk eine gemeinsame Zeitreferenz. Latenz und Jitter werden kontrollierbar und ermöglichen die deterministische Kommunikation. Somit ist der Datenfluss im Netzwerk berechenbar.

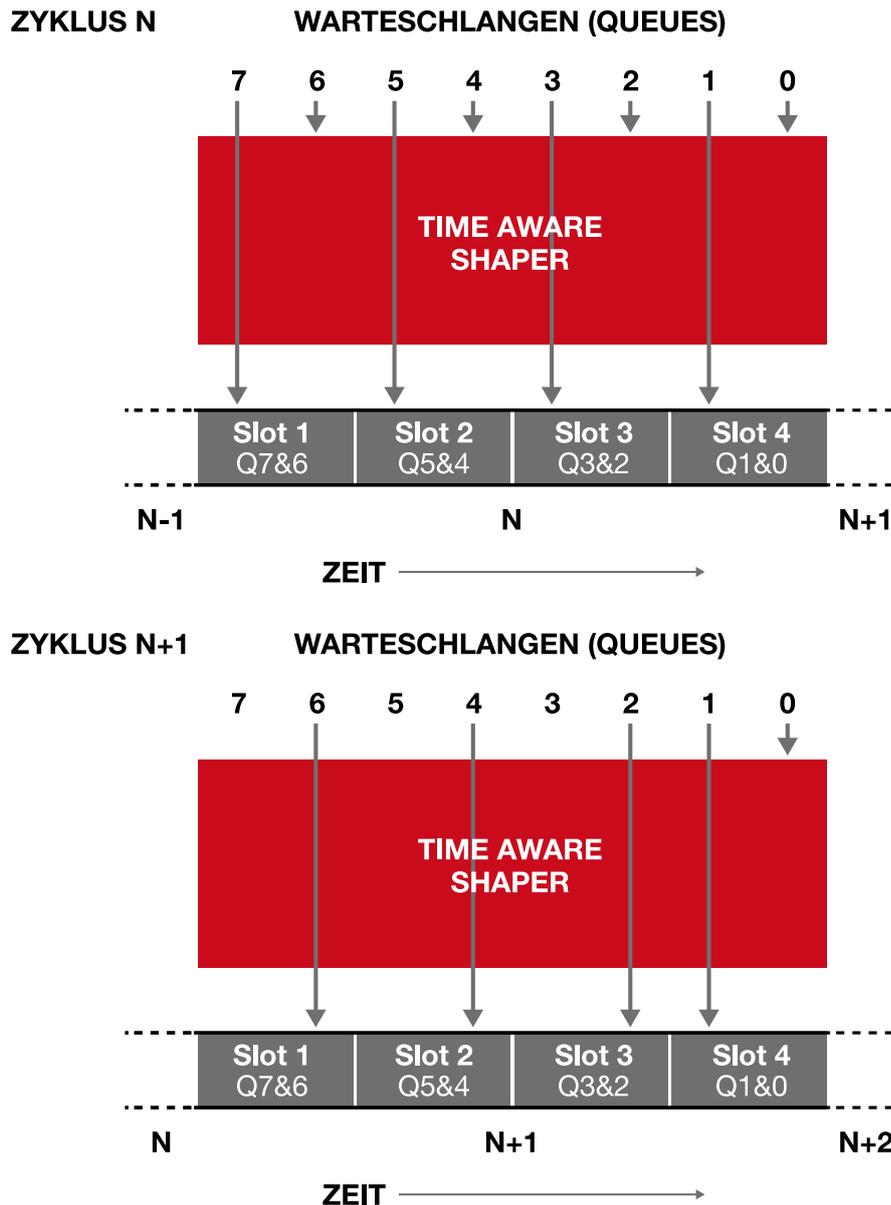


Abbildung 3 - IEEE 802.1Qbv ermöglicht die Zuordnung von Zeitfenstern (Slots) zu den Warteschlangen der einzelnen Verkehrsklassen. In diesem Beispiel stehen vier Slots für acht Queues zur Verfügung. Innerhalb eines jeden Slots hat die höher priorisierte Verkehrsklasse Vorrang.

## 2. IEEE 802.1 Qbv – Enhancements for Scheduled Traffic (Scheduler)

Wenn im Netzwerk eine gemeinsame Referenzzeit gilt, definiert IEEE 802.1 Qbv „Time Aware Shapers“ [5]. Diese definieren bestimmte Zeitfenster („Slots“), die den verschiedenen Arten von Netzwerkverkehr abhängig von ihrer Priorität zugewiesen werden. So würde beispielsweise dem Datenverkehr im Zusammenhang mit einem Not-Aus-Ereignis Vorrang vor den Videoframes des Bildverarbeitungssystems eingeräumt. Durch Zuweisung dieser Slots mithilfe des Zeitmultiplexverfahrens (Time Division Multiple Access, TDMA) können verschiedene Arten von Datenverkehr auf berechenbare Weise über das Netzwerk geleitet werden, was die deterministische Kommunikation zusätzlich unterstützt. Das Verfahren fördert auf diese Weise die Konvergenz und optimiert zugleich die Ausnutzung der Netzwerkbandbreite.

### 3. Weitere IEEE 802.1-Standards

Neben diesen zentralen Funktionen gibt es zahlreiche weitere IEEE 802.1-Standards in Bezug auf TSN (derzeit etwa 30), die entweder bereits veröffentlicht oder noch in der Entwicklung sind. Viele von diesen Standards sind für industrielle Anwendungen nicht relevant, was zum Teil darauf zurückzuführen ist, dass TSN ursprünglich für professionelle audiovisuelle Systeme entwickelt wurde. Aus diesem Grund werden diese weiteren Standards in diesem Whitepaper nicht genannt.

### 4. Weiterentwicklung der TSN-Standards

Wie alle Technologien entwickeln sich die IEEE 802.1-Standards, die TSN definieren, ständig weiter. Bestehende Standards werden detailliert erweitert, während neue Standards entstehen. Doch obwohl die Entwicklung weitergeht, ist die Technologie reif genug für die Umsetzung in Projekten. Die Weiterentwicklung der Technologie hat durchaus Vorteile – die Änderungen werden den jeweils aktuellen Anforderungen Rechnung tragen und nicht so bald veraltet sein. Diese Evolution der Technologie ist daher positiv zu sehen.

Unproblematisch ist die Weiterentwicklung auch deshalb, weil die Ethernet-Standards stets abwärtskompatibel waren. Die Technologie gibt es bereits seit rund vierzig Jahren, und in der Regel können ältere Geräte noch immer mit neueren Systemen kombiniert werden. Es ist davon auszugehen, dass dies auch bei TSN der Fall sein wird. Daher können Unternehmen, deren Projekte zeitnah realisiert werden müssen, ruhigen Gewissens TSN einschließen, das aller Voraussicht nach auch noch in einigen Jahren Stand der Technik sein wird. Es besteht keine Notwendigkeit, auf einen ungewissen Zeitpunkt in der Zukunft zu warten, an dem TSN „bereit“ sein wird, da dieser Moment des Stillstands vermutlich nie eintreten wird. Ein analoges Beispiel ist die Mobiltelefonie: Während sich die Mobilfunknetze von 2G über 3G und 4G zu 5G entwickelt haben, musste niemals die nächste Generation abgewartet werden.

Diese Zuversicht wird durch das Projekt IEC/IEEE 60802 [6] über die Verwendung von TSN in der Industrieautomation weiter unterstützt. Aufgabe dieses Projekts es ist, standardisierte Profile für die Verwendung der Technologie in unterschiedlichen Applikationen zu definieren.

Zukunftsorientierte Unternehmen, die auf diese innovative Technologie setzen, profitieren daher von einem Migrationspfad, also einer Entwicklungstendenz, die nicht nur den aktuellen Anforderungen gerecht wird, sondern auch eine Möglichkeit bietet, für zukünftige Bedürfnisse vorzusorgen. Mit TSN können Unternehmen jetzt auf eine Lösung zurückgreifen, die sie bei der Verbesserung ihrer derzeitigen Systeme und Abläufe unterstützt und noch Potenzial für zukünftige Optimierungen mitbringt.

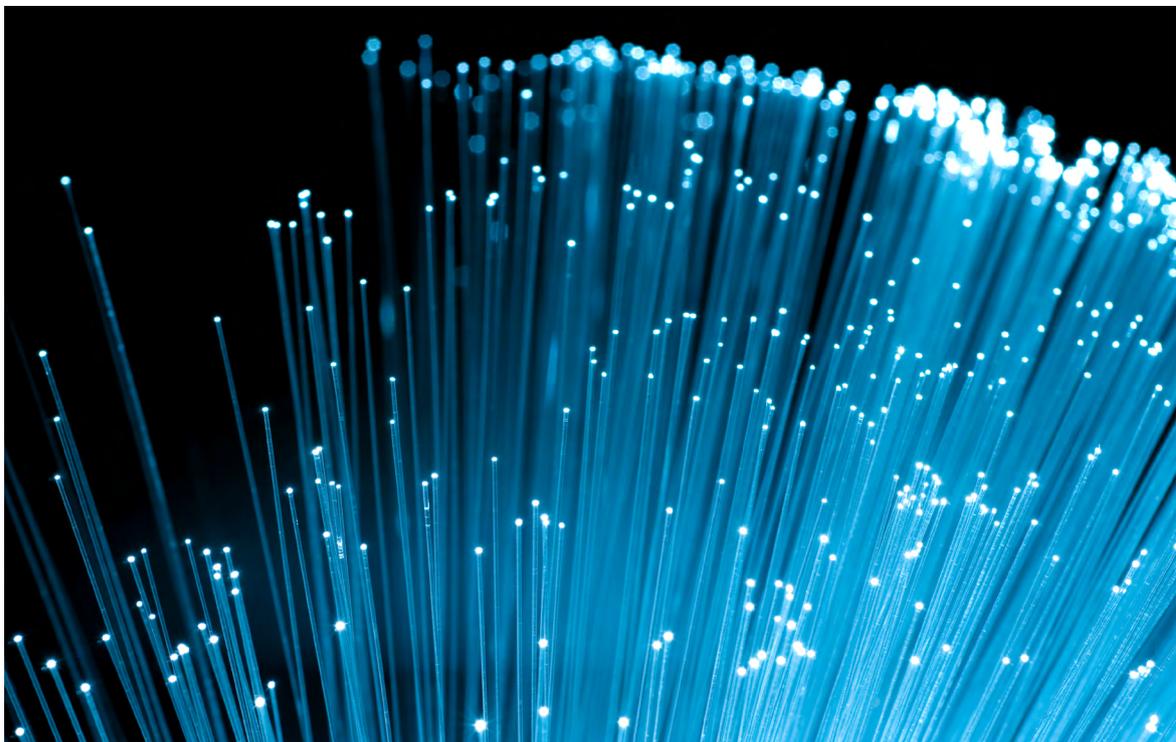
## 5. Die Bedeutung der Bandbreite

Ein letzter wichtiger Aspekt bei TSN-Netzwerken ist die Bandbreite. Über den Determinismus hinaus ermöglichen die TSN-Standards dem industriellen Ethernet typischerweise, diese feste Größe effizienter auszunutzen.

Die TSN-Priorisierungsfunktionen weisen verschiedene Bandbreitenbereiche selektiv so zu, dass der gesamte Datenverkehr im Netzwerk fließen kann, ohne dass weniger kritische Daten die Datenströme mit höherer Priorität behindern. In der Vergangenheit arbeiteten viele Industrial-Ethernet-Technologien mit 100 Mbit Bandbreite. Zwar ermöglicht TSN eine maximal effektive Nutzung dieser Bandbreite, doch treibt die Zunahme des durch Industrie 4.0 generierten Datenvolumens den Bedarf an der Gigabit-Bandbreite voran. TSN wird von diesem Trend profitieren. Auch wenn TSN die Ausnutzung der Bandbreite verbessert, liegt es auf der Hand, dass eine breitere Kommunikationskanalbandbreite, genannt „Pipe“, weniger Kompromisse zwischen den Verkehrsarten verlangt, was einer Leistungssteigerung bei der Übertragung der weniger kritischen Datenströme gleichkommt.

Die Gigabit-Bandbreite beendet die Notwendigkeit, mehrere Netzwerke vorhalten zu müssen, nur um gelegentliche Datenverkehrsspitzen bewältigen zu können. Die Umstellung auf Gigabit sorgt dafür, dass ein einzelnes Netzwerk erhöhten Anforderungen an die Bandbreite gerecht werden kann. TSN gewährleistet dabei, dass diese bei steigendem Verkehrsaufkommen möglichst effizient genutzt wird.

Hierdurch wird zukünftig der Aufbau von Systemen ermöglicht, in denen verschiedene Industrial-Ethernet-Protokolle zusammen mit dem konventionellen TCP/IP-Verkehr in einem einzigen Netzwerk zusammengezogen werden, um die Kosten zu senken, die Produktivität zu steigern und die Transparenz zu verbessern.



[iStock/narvikk]

## Kapitel 2: Vorteile von TSN

### **TSN kann Standard-Ethernet deterministisch machen und damit die Voraussetzungen für Konvergenz schaffen**

Wie im vorherigen Kapitel erörtert, hat TSN die Aufgabe, Standard-Ethernet deterministisch zu machen. Dadurch ist es möglich, Daten auf berechenbare Weise zur Verfügung zu stellen und konvergierte Netzwerke zu realisieren. Somit profitieren von dieser Technologie Automatisierungsanbieter, Maschinenbauer und Endanwender im gleichen Maße.

Für Anbieter: Die Möglichkeit, Geräte zu entwickeln, die Latenz und Jitter mit Präzision begegnen und gleichzeitig in der Lage sind, sich Netzwerke mit Geräten mit anderen Arten von Datenverkehr zu teilen. Diese Geräte werden die Schlüsselkomponenten zukünftiger Automatisierungssysteme sein.

Für Maschinenbauer: Die Möglichkeit, Systeme zu konstruieren, die weniger komplex, kostengünstiger und leichter zu warten sind, weil durch die von TSN ermöglichte Konvergenz der gesamte Datenverkehr über ein und dasselbe Netzwerk abgewickelt werden kann.

Für Endanwender: Nutzung der Transparenz, die diese konvergierten Netzwerke bieten, um Prozesse besser zu verstehen und somit optimieren zu können.

### **Die Vorteile konvergierter Netzwerke**

In der Vergangenheit war es üblich, mehrere Netzwerke zu haben, die jeweils für eine bestimmte Aufgabe spezialisiert waren. Eines war beispielsweise allgemeinen Steuerungsaufgaben vorbehalten, wie der Kommunikation zwischen SPSen, E/A- und ähnlichen Geräten. Ein weiteres Netzwerk war für die Kommunikation für Sicherheitsfunktionen, wie Not-Aus, Lichtvorhänge und Sicherheitssteuerungen, reserviert. Des Weiteren konnte ein separates Motion-Control-Netzwerk für die Kommunikation von Servos, Antrieben, Encodern und Motion Controllern vorhanden sein.

Diese isolierten Systeme zusammenarbeiten zu lassen, war oft eine technische Herausforderung. Entsprechend lang waren die Projektdauer und die Produkteinführungszeit. Die Kosten waren hoch und Leistungsmaximierung oder Wartung oft ein Kernproblem.

Vor diesem Hintergrund ermöglichen viele moderne Industrial-Ethernet-Technologien die Kombination von allgemeiner Steuerung, Motion Control und Safety in einem Netzwerk, was schon erhebliche Verbesserungen bedeutet.

Industrie 4.0 verlangt den Endanwendern jedoch noch mehr ab. Um die in der Übersicht skizzierten Herausforderungen zu überwinden, muss das Ethernet die Konvergenz aller Arten von Netzwerken und Verkehrsarten unterstützen, die typischerweise in industriellen Umgebungen vorkommen. Das schließt auch die Integration von Geräten wie Barcodelesegeräten, Vision-Systemen und Druckern ein, die normale Ethernet-Netzwerke ohne spezielles Industrieprotokoll verwenden können.

Außerdem entwickelt sich die Fertigung im Laufe der Zeit weiter, wobei verschiedene Projekte mit unterschiedlichen Kommunikationstechnologien arbeiten. So sind in vielen Fabriken diverse inkompatible Industrial-Ethernet-„Inseln“ zu finden. Da der uneinheitliche Datenverkehr nur schwer in Einklang zu bringen ist, um einen Gesamtüberblick zu gewinnen, leidet die

Prozesstransparenz. Entsprechend schwierig sind Management und Optimierung. Wenn sich diese ungleichen Datenströme mittels TSN ein Netzwerk teilen, gehören derartige Inseln der Vergangenheit an. Als weiteres Beispiel kann hier die Erweiterung einer Produktionslinie genannt werden, wo schon bestehende Ethernet-basierende Netzwerke in das TSN-Netzwerk integriert werden können.

Mit TSN können Anwender sogar noch einen Schritt weiter gehen: Je mehr das Konzeptmodell von Industrie 4.0 Gestalt annimmt, desto stärker halten gängige IT-Technologien wie Cloud Computing Einzug in die Fertigung. Auch wenn viele Cloud-Systeme theoretisch große Mengen an Anlagendaten aufnehmen können, ist es in der Praxis gar nicht notwendig, dass diese IT-Systeme jedes kleinste Detail des Maschinenbetriebs verfolgen. Hier kommen die sogenannten „Edge-Server“ ins Spiel. Sie erfüllen Filterfunktionen, die nur die wichtigsten Daten in die Cloud schicken. Hier werden sie zu Informationen aufbereitet, um solide Prozesskenntnisse zu liefern. Es ist offenkundig, dass Netzwerkarchitekturen, die einen einzigen, konvergierten Datenstrom an diese Edge-Server liefern, bessere Ausgangsbedingungen für Betrieb und Optimierung bieten. Dies ist einer der zentralen Treiber für die „OT/IT“-Konvergenz, wobei „OT“ (Operational Technology) für die Systeme der Fertigung steht.

# Die wirtschaftlichen Vorteile

Zusammenfassend lässt sich der Automatisierungsmarkt als eine Zweckgemeinschaft von Endanwendern betrachten, die ihre Projekte beim Maschinenbauer spezifizieren, der dann seinerseits nach Anbietern sucht, die ihm Produkte und Lösungen für diesen Anforderungskatalog liefern können. TSN kann allen Marktteilnehmern folgende Vorteile bieten:

## 1. Einfachere Netzwerk-/Maschinenarchitekturen

Im Allgemeinen kann der Endanwender die Anzahl der für seinen Betrieb erforderlichen Netzwerke auf ein einziges reduzieren. So kann auch der Maschinenbauer deutlich kostengünstiger anbieten, da weniger Material benötigt wird und auch der Engineering-Aufwand für Auslegung, Konfiguration und Installation von Netzwerksystemen auf ein Minimum sinkt. Dabei können bestehende Ethernet-basierende Netzwerke mit in ein neues TSN-Netzwerk eingebunden werden, was somit die getätigten Investitionen sichert. Zudem verkürzt sich die Projektdauer für komplette Fabrikautomatisierungsvorhaben.

## 2. Größere Prozesstransparenz und besseres Management

Die durch TSN unterstützte Konvergenz erleichtert den Datenaustausch zwischen den Unternehmensebenen und liefert dem Endanwender mehr Prozesstransparenz. Letzten Endes bedeutet Transparenz, mehr Daten aus industriellen Prozessen extrahieren und analysieren zu können, um so zu aussagekräftigen Informationen zu gelangen, die zu einem besseren Verständnis der Betriebsabläufe der Fertigung beitragen. Diese Erkenntnisse können dann zur Optimierung von Performance, Produktivität, Effizienz und Endproduktqualität genutzt werden.

## 3. Höhere Produktivität

Indem TSN den Aufbau von Einzelnetzwerken unterstützt, die alle Arten von Datenverkehr übertragen, lassen sich Fehler und potenzielle Probleme leichter lokalisieren und beheben. Daher können Ausfallzeiten aufgrund von Wartungs- oder Reparaturarbeiten reduziert und die Gesamtverfügbarkeit erhöht werden. So wird das gesamte Fertigungssystem beim Endanwender produktiver.

## 4. Bessere Integration von OT- und IT-Systemen

Durch die Konvergenz verschiedener Arten von Prozessdaten eröffnet TSN eine wichtige Möglichkeit zur Zusammenführung von OT und IT. Diese Konvergenz ist ein notwendiges Kriterium für die datengesteuerte, intelligente Fertigung, da sie durch die gemeinsame Nutzung und Verwertung aussagekräftiger Informationen Innovation und Zusammenarbeit im gesamten Unternehmen fördert. Folglich können Geräteanbieter durch die Einbettung von TSN-Funktionen in ihre Produkte Lösungen mit verbesserter Interoperabilität sowie der Möglichkeit anbieten, Gerätedaten über Cloud-Konnektivität unternehmensweit sichtbar zu machen.

## Kapitel 3: Was TSN nicht kann

### TSN ist eine „Traffic Pipe“

Da TSN auf Schicht 2 der OSI-Hierarchie angesiedelt ist, soll es nur sicherstellen, dass die Daten – die „Einsen“ und „Nullen“ – mit berechenbarer Latenz und vorhersagbarem Jitter von A nach B gelangen. TSN legt damit die notwendige, deterministische Grundlage für die Netzwerkkonvergenz – nicht mehr und nicht weniger.

Während sich hierdurch die Eignung von Ethernet für die industrielle Kommunikation verbessert, darf man nicht vergessen, dass TSN letztlich eine „Traffic Pipe“ ist. Für TSN ist es nicht von Belang, für welche Anwendungsfunktionen die Einsen und Nullen stehen. Somit gibt es bei Automatisierungssystemen viele Aspekte, die TSN selbst nicht anspricht.

Übergeordnete anwendungsbezogene Funktionen wie Safety, Motion-Control und Geräteprofile für eine einfache Netzwerkkonfiguration und -wartung werden weiterhin benötigt. TSN selbst bietet keine dieser Funktionen an. Auf absehbare Zeit werden also weiterhin Protokolle auf höherer Ebene notwendig sein, um diese Funktionen zu realisieren. Als „Traffic Pipe“ ignoriert TSN auch Themen wie Cybersicherheit, die in den vergangenen Jahren für den Automatisierungssektor immer wichtiger geworden sind.

Dennoch müssen auch diese Protokolle mit TSN kompatibel sein, damit die beschriebenen Vorteile konvergierter Netzwerke zum Tragen kommen. Unternehmen, die jetzt Fabrikautomatisierungsprojekte realisieren, sollten daher idealerweise nach offenen Netzwerktechnologien Ausschau halten, die ihre derzeitigen Anforderungen erfüllen. Sie sollten z. B. Gigabit-Bandbreite für die Anforderungen von Industrie 4.0 bereitstellen und mit TSN gleichzeitig aufwärtskompatibel sein.

## Kapitel 4: TSN: Zeit zum Handeln

Welche Bedeutung der TSN-Technologie zukommt, lässt sich daran erkennen, dass viele Normungsgremien und Industrial-Ethernet-Organisationen diese Technologie in ihr Portfolio aufgenommen haben. Ihre Arbeit schafft eine solide Grundlage für die Daten- und Informationsintegration zwischen all den komplexen, verschiedenen Geräten und Anwendungen, die bisher autonome „Automatisierungsinself“ darstellten.

Um beim Endanwender erfolgreich vollständige Automatisierungssysteme aufzubauen, müssen all die verschiedenen Technologien miteinander verbunden und durch nahtlose, interoperable Protokolle in Betrieb genommen werden. Durch die Standardisierung können komplette Fertigungssysteme zudem mit Produkten unterschiedlicher Anbieter entwickelt und bereitgestellt werden. TSN ist eine Plattform, die zahlreiche Chancen für Konvergenz und Interoperabilität eröffnet, weil hierdurch bislang inkompatible Geräte und Anwendungen Teil eines zusammenhängenden Systems werden können. So werden verschiedene Industrial-Ethernet-Protokolle dasselbe Netzwerk gemeinsam nutzen können. Mittels OPC-UA werden bisher inkompatible Systeme auf der Steuerungsebene und höheren Ebenen in einer gemeinsamen Sprache miteinander kommunizieren können.

Zur Realisierung dieser Vision haben neben der OPC Foundation diverse Open-Industrial-Ethernet-Organisationen die TSN-Kompatibilität in ihr Portfolio aufgenommen. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Whitepapers ist davon auszugehen, dass diese Projekte in etwa ein bis zwei Jahren vollständige Lösungen liefern werden.

Die Normengruppe IEEE 802.1 umfasst über 30 verschiedene Standards, von denen einige für industrielle Anwendungsfälle nicht relevant sein werden. Es bedarf daher gewisser Vereinbarungen, welche Standards für die Automatisierung verwendet werden sollen. IEC und IEEE arbeiten deshalb gemeinsam an der Festlegung eines Standard-Profilsets für TSN, das auf einer umfangreichen Auswahl von Applikationen beruht. Dieses Projekt ist allgemein als IEC/IEEE 60802 bekannt und wird voraussichtlich in ein bis zwei Jahren abgeschlossen sein. Wie wir gesehen haben, werden jedoch viele Anwendungsfälle in der Automatisierung bereits durch die Kernstandards IEEE 802.1AS und Qbv abgedeckt, die die Zeitsynchronisierung und Priorisierung betreffen. Die Geräteanbieter haben bereits Produkte mit diesen Standards auf den Markt gebracht. Außerdem sind IEC und IEEE für gut funktionierende Abwärtskompatibilität bekannt. Alle künftigen Normen werden daher mit großer Wahrscheinlichkeit Weiterentwicklungen früherer Normen sein.

Im Rahmen des IEC/IEEE 60802-Projekts soll auch die Frage der TSN-Konformitätsprüfung geklärt werden. Zumindest eine Open-Network-Organisation bietet dies bereits an, und es ist davon auszugehen, dass diese Aktivitäten in zukünftige, umfassendere Programme einfließen werden, an denen auch andere Organisationen beteiligt sind.

Was also sollten Unternehmen tun, die von den Vorteilen von TSN überzeugt sind und es möglichst bald einführen möchten? Zunächst einmal gilt es, eine aktuelle Technologie zu finden, die TSN bereits unterstützt und zugleich die erforderliche Anwendungsfunktionalität, wie Safety und Motion Control, bereitstellt. So werden die aktuellen Projektanforderungen erfüllt und gleichzeitig die zukünftige Kompatibilität mit anderen TSN-basierten Technologien bei deren Einführung gewährleistet, weil mehrere Protokolle dasselbe Netzwerk nutzen können.

2018 hat die CLPA (CC-Link Partner Association) CC-Link IE TSN eingeführt. Dabei handelt es sich um das bewährte offene industrielle Ethernet CC-Link IE, das mit der TSN-Kompatibilität erweitert wurde. CC-Link IE TSN war die weltweit erste offene Industrial-Ethernet-Technologie, die die Gigabit-Bandbreite mit TSN kombiniert. Ebenfalls wird mit CC-Link IE TSN die 100 Megabit-Bandbreite unterstützt, und läutet somit zweifelsohne die Zukunft des offenen industriellen Ethernets ein. Das Resultat ist eine bewährte Technologie, die Endanwender, Maschinenbauer und Geräteanbieter jetzt für ihre Produkte und Projekte übernehmen sollten. Geräteherstellern, die CC-Link IE TSN-zertifizierte Produkte anbieten möchten, steht bereits ein sehr umfangreiches und vielfältiges Ökosystem an Entwicklungsoptionen zur Verfügung. Kompatible Produkte und Lösungen von führenden Anbietern wie Mitsubishi Electric sind sogar bereits erhältlich. Endanwender und Maschinenbauer können die beschriebenen Chancen schon heute nutzen. Indem sie jetzt CC-Link IE TSN-kompatible Produkte entwickeln, sind die Gerätehersteller in der Lage, die Zukunft der Automatisierung mitzugestalten und an dieser neuen Marktperspektive teilzuhaben.

CC-Link IE TSN trägt in dreifacher Hinsicht dazu bei, das Versprechen von Industrie 4.0 einzulösen:

- Performance (Leistung) – Das einzige derzeit verfügbare offene industrielle Ethernet, das die Gigabit-Bandbreite mit TSN kombiniert, um durch maximale Bandbreitenverfügbarkeit höchste Produktivität zu erreichen.
- Connectivity (Konnektivität) – Als offene Technologie gewährleistet CC-Link IE TSN für Endanwender und Maschinenbauer Wahlfreiheit im Hinblick auf die Komponenten und Implementierungsflexibilität für die Geräteanbieter. TSN geht noch einen Schritt weiter und eröffnet die Möglichkeit, den CC-Link IE TSN-Datenverkehr mit demjenigen anderer Protokolle zu kombinieren.
- Intelligence (Informationsgewinn) – Kürzere Entwicklungszeiten und höhere Verfügbarkeit durch Eigenschaften und Funktionen, die das Systemdesign und die Instandhaltung vereinfachen.

Was bedeutet dies alles nun für den Endanwender, Maschinenbauer oder Gerätehersteller, der im Hinblick auf TSN noch immer unschlüssig ist? Bedeutende Vordenker und Innovatoren haben den Wert dieser Technologie erkannt und arbeiten gemeinsam mit dem IEEE an der Weiterentwicklung und Optimierung. Vor allem aber nehmen Normungsgremien und Gerätehersteller die TSN-Technologie jetzt in ihre eigenen Normen bzw. Portfolios auf und treiben sie damit voran. Endanwender möchten aus dem größeren Angebot vieler Anbieter auswählen können, verlangen aber aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, dass all ihre Netzwerke und Geräte nebeneinander bestehen und zusammenarbeiten können. Nur so können die Daten all dieser zuvor alleinstehenden Geräte in verwertbare Informationen umgewandelt und mithilfe von TSN durchgängige Komplettlösungen für die Industrieautomatisierung der Gegenwart und Zukunft aufgebaut werden.

Auf den Punkt gebracht: Das Risiko besteht nicht darin, sich jetzt für TSN zu entscheiden, sondern im möglicherweise jahrelangen Warten auf eine „Endversion“, während die meisten Mitbewerber vorbeiziehen.

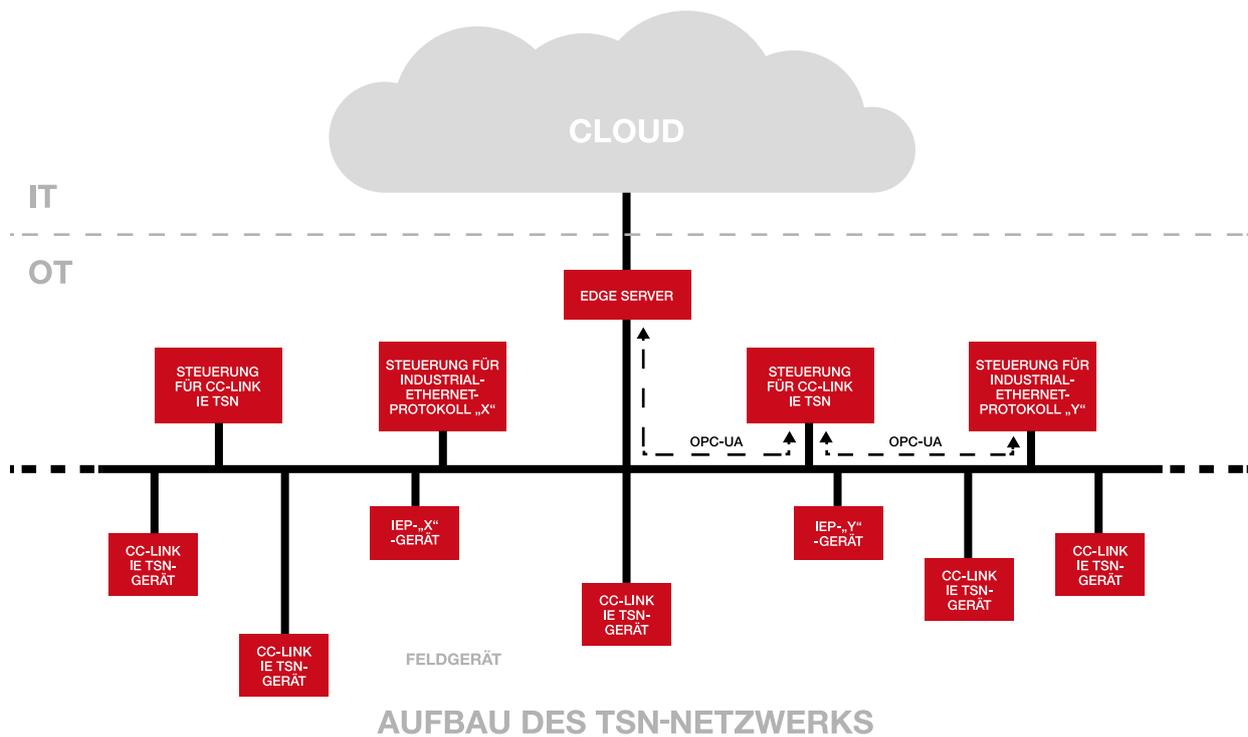


Abbildung 4 - TSN schafft die erforderliche Prozesstransparenz für die Nutzer durch Zusammenführung von OT- und IT-Aspekten.

## Schlussfolgerungen

TSN ist *die* wichtigste Zukunftstechnologie für die industrielle Automatisierung. Sie bietet zahlreiche Möglichkeiten, wobei Determinismus und damit die vollständige Konvergenz der Industrie- und Businessnetzwerke sicherlich die größte Rolle spielen. Die Netzwerkkonvergenz ist zentral für die Erfüllung der Industrie 4.0-Forderung nach größerer Transparenz, die es ermöglicht, Prozesse und Fertigung hocheffizient und rationell zu gestalten.

Bei aktuellen Automatisierungsprojekten in der Industrie gilt es zu prüfen, welche Technologien diesen Anforderungen gerecht werden. Vorhandene Technologien mit Eigenschaften wie Gigabit-Ethernet sind ein guter Ausgangspunkt. Natürlich sollten die Netzwerkprotokolle auch offen sein.

Wichtig ist auch, die Zukunft im Auge zu behalten, d. h. aktuelle Technologien auszuwählen, die TSN unterstützen können. Das ist notwendig, um einen Upgrade-Pfad zu den TSN-fähigen Systemen der Zukunft vorzuhalten.

Die Technologielandschaft rund um TSN entwickelt sich ständig weiter, und die Arbeit von IEEE und IEC treibt den Fortschritt voran. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen darf man jedoch davon ausgehen, dass TSN-Lösungen, die heute installiert werden, auch mit den Systemen von morgen noch funktionieren werden. Ethernet gibt es schon seit etwa 40 Jahren, und es hat sich in dieser Zeit kontinuierlich weiterentwickelt. Gerade deshalb wird es heute noch verwendet. Es besteht also kein Anlass, sich vor einer „zu frühen“ Einführung von TSN zu fürchten. Es gilt vielmehr, nicht zögerlich zuzusehen, wie der Wettbewerb von den bereits verfügbaren Lösungen profitiert und zum Überholen ansetzt.

Bahnbrechende Technologien wie TSN werden sich weiterentwickeln, um heutige Erfordernisse zu erfüllen und die nächste industrielle Revolution mitzugestalten. Maschinenbauer und Endanwender werden in der TSN-Technologie eine Lösung finden, um ihre Altsysteme mit den Systemen von heute zu vernetzen und gleichzeitig für die komplexen Anforderungen der Zukunft gerüstet zu sein. So ist TSN in gewisser Weise zeitlos. Geräteanbieter, Maschinenbauer und Endanwender sollten daher jetzt in die TSN-Technologie investieren. So werden sie im Laufe der weiteren Entwicklung immer einen Schritt voraus und in der Lage sein, die Vorteile neuer TSN-Funktionen nahtlos zu nutzen.

CC-Link IE TSN bietet eine Möglichkeit, diesen Schritt in die Zukunft heute zu tun. Setzen Sie sich jetzt mit der CLPA in Verbindung, und lassen Sie sich beraten, wie CC-Link IE TSN den Roadmaps in der Entwicklung zugutekommt, den Aufbau von Maschinen vereinfachen und Abläufe in der Fertigung optimieren kann.

# Über die Autoren



John Browett hatte in seinen ersten 18 Berufsjahren verschiedene Positionen in den Konstruktions- und Marketingabteilungen von Mitsubishi Electric in Japan, den USA und Deutschland inne. Seit zehn Jahren arbeitet er für die CC-Link Partner Association (CLPA) in Europa und ist inzwischen deren General Manager.

2018 leitete er die europäische Markteinführung von CC-Link IE TSN, dem ersten offenen industriellen Ethernet, das die Gigabit-Bandbreite mit Time-Sensitive Networking (TSN) kombiniert. Er engagiert sich für die Zusammenarbeit mit führenden Automatisierungsanbietern in Europa und aller Welt, um die von Industrie 4.0 geforderten konvergenten Netzwerkarchitekturen bereitzustellen und so die Voraussetzungen für die Connected Industries der Zukunft zu schaffen.

Er hat einen BEng in Elektrotechnik der Lancaster University in Großbritannien und studierte u. a. an der University of California in Los Angeles. Darüber hinaus besitzt er ein Postgraduierten-Diplom im Fach Management der University of Cambridge und ist Mitglied des britischen Chartered Institute of Marketing.

## Kontakt:

### CLPA Europe:

John Browett



[john.browett@eu.cc-link.org](mailto:john.browett@eu.cc-link.org)  
[www.linkedin.com/in/johnbrowett/](http://www.linkedin.com/in/johnbrowett/)



Thomas J. Burke ist Global Director of Industry Standards bei Mitsubishi Electric und leitet die strategische Entwicklung und Einführung von Netzwerkstandards, einschließlich der Einführung der offenen Netzwerklösungen von Mitsubishi Electric.

Darüber hinaus ist er Global Strategic Advisor für die CC-Link Partner Association (CLPA) und für die Zusammenarbeit mit anderen Organisationen und Anbietern verantwortlich, um den Erfolg der CLPA und die Verbreitung der CC-Link IE TSN-Technologie zu fördern.

Des Weiteren ist er Director of Strategic Marketing bei ICONICS, wo er sich die Vergrößerung des Marktanteils des zukunftsweisenden Produktportfolios von ICONICS zur Aufgabe gemacht hat.

Als ehemaliger President und Executive Director der OPC Foundation hat er Pionierarbeit für die OPC Unified Architecture (OPC UA) als Grundlage der Informationsintegration und Interoperabilität geleistet.

Seine Vision sind Kompatibilität und Datenintegration, um die digitale Transformation zu verwirklichen und die Konvergenz von IT und OT konkret zu nutzen. Er betrachtet TSN als eine hierfür entscheidende Technologie und begrüßt es sehr, dass die CLPA als erste Industrial-Ethernet-Organisation die TSN-Technologie in ihre offenen Standards eingebunden hat.

Thomas J. Burke hat einen Bachelor-Abschluss in theoretischer Mathematik der John Carroll University (Cleveland, Ohio) und einen Master-Abschluss in Computer Engineering der University of Dayton (Dayton, Ohio).

## Contact me today

### CLPA North America:

Thomas J. Burke



[tom.burke@cclinkamerica.org](mailto:tom.burke@cclinkamerica.org)  
[www.linkedin.com/in/thomasjburke1975/](http://www.linkedin.com/in/thomasjburke1975/)



OPEN AUTOMATION NETWORKS



Time-Sensitive Networking (TSN) – Zeit zum Handeln

# Quellenangaben

- [1] Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. Plattform Industrie 4.0.  
Available at: <https://www.plattform-i40.de/> [Accessed October, 5 2020]
- [2] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Time-Sensitive Networking Task Group.  
Available at: <https://1.ieee802.org/> [Accessed October, 5 2020]
- [3] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 802.AS - Timing and Synchronization.  
Available at: <https://www.ieee802.org/1/pages/802.1as.html> [Accessed October, 5 2020]
- [4] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. IEEE 1588-2019 - IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems.  
Available at: <https://standards.ieee.org/standard/1588-2019.html> [Accessed October, 5 2020]
- [5] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 802.1Qbv - Enhancements for Scheduled Traffic.  
Available at: <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1bv.html> [Accessed October, 5 2020]
- [6] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. IEC/IEEE 60802 - TSN Profile for Industrial Automation.  
Available at: <https://1.ieee802.org/tsn/iec-ieee-60802/> [Accessed October, 5 2020]

**Virtueller Messestand:** <http://cc-link-ve.eu/>

**Website der CLPA Europe:** <https://eu.cc-link.org/de/>

**Website der CLPA North America:** <http://am.cc-link.org/en/>

**Die CLPA in den sozialen Medien:**



[www.linkedin.com/company/cc-link-partner-association-europe](http://www.linkedin.com/company/cc-link-partner-association-europe)



[www.twitter.com/CC\\_LinkNewsDE](http://www.twitter.com/CC_LinkNewsDE)



[www.youtube.com/c/CCLinkPartnerAssociation](http://www.youtube.com/c/CCLinkPartnerAssociation)



[www.xing.com/companies/cc-linkpartnerassociationeurope](http://www.xing.com/companies/cc-linkpartnerassociationeurope)



## **OPEN AUTOMATION NETWORKS**

CLPA Europe, Postfach 10 12 17, 40832 Ratingen, Deutschland  
Tel: 49-2102-486-1750 Fax: 49-2102-532-9740 E-mail: [partners@eu.cc-link.org](mailto:partners@eu.cc-link.org)

CLPA Americas, 500 Corporate Woods Parkway - Vernon Hills, IL 60061, USA  
Tel: 847-478-2647 Fax: 847-876-6611 E-mail: [Info@CCLinkAmerica.org](mailto:Info@CCLinkAmerica.org)