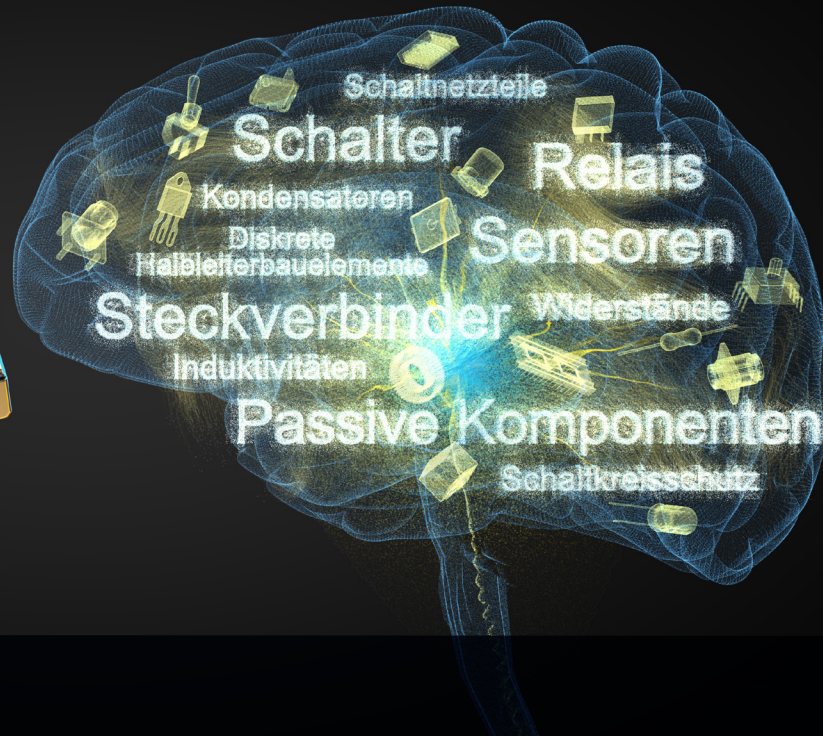
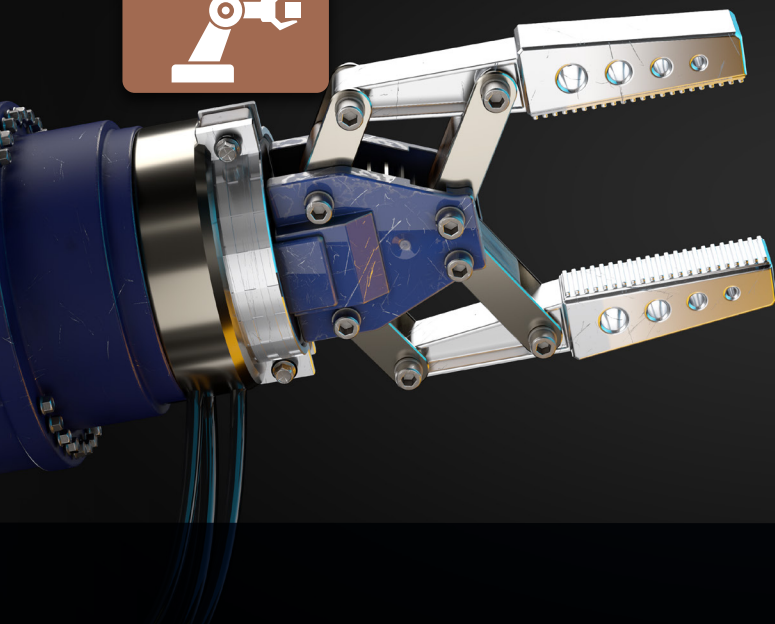




Whitepaper

Industrial



Ethernet-Entwicklung für deterministische industrielle Anwendungen

Autor: Felix Corbett, Director Supplier Marketing, TTI Europe

Einleitung

IEEE 802.1 Time Sensitive Networking (TSN) setzt Standards für die Echtzeitkommunikation über Ethernet, entlastet die Abhängigkeit von proprietären Erweiterungen und schafft die Möglichkeit, den freien Informationsfluss zwischen operativen (OT-) und IT-Netzwerken, einschließlich der Cloud, zu verbessern. Darüber hinaus können OT-Netzwerke die Vorteile der Skalierbarkeit und Sicherheit von Ethernet-basierten IT-Netzwerken nutzen.

Dieses White-Paper untersucht den bisherigen Bedarf an Ethernet-Erweiterungen zur Unterstützung zeitkritischer und Echtzeit-Kommunikation und wie TSN heute die Funktionen der OSI-Netzwerkschichten 1 und 2 standardisiert, um zeitkritische und aufwandsintensive Daten über ein einheitliches Netzwerk zu ermöglichen. Obwohl das TSN verspricht, die Infrastrukturen zum Nutzen der Endnutzer und Geräteanbieter zu vereinfachen, bleiben die laufenden Arbeiten zur Sicherstellung der Interoperabilität wichtig.

Industrie- und IT-Konnektivität im digitalen Unternehmen

Der Erfolg von Ethernet als Technologie für die lokale Vernetzung von IT-Systemen hat zu Anpassungen an betriebliche (OT) Zwecke wie Industrieautomatisierung, vernetzte Sicherheitssysteme und Automotive-Netzwerke geführt. Die Anforderungen an die Robustheit in rauen Umgebungen werden durch Hardware wie industriesspezifische RJ45-Stecker erfüllt. Transformatoren, die eine galvanische Trennung gewährleisten, werden typischerweise auch in industriellen Anwendungen eingesetzt. Neben dem Schutz der angeschlossenen Geräte vor Überspannungen und Transienten dienen sie auch zur Signalaufbereitung von unsymmetrischen und Differenzsignalen. Ein Beispiel ist der Transformator 51589PEL von Bourns. Mit zunehmender Verbreitung des Ethernets kann die Möglichkeit, Sensoren und andere netzwerkfähige Geräte über das Ethernet-Kabel mit Strom zu versorgen, die Installation und den Bedarf an zusätzlicher Stromverteilung und Transformatoren vereinfachen. Murata zum Beispiel bietet die MYBSP-Familie von isolierten DC/DC-Wandlern speziell für POE-Anwendungen an.

Industrial Ethernet-Anwendungen zeichnen sich nicht nur durch ihre Robustheit aus, sondern auch durch die Anforderung, Daten zeitnah an das Empfangsgerät zu liefern, oft mit harten Echtzeitanforderungen. Dazu gehören die Automatisierung wie die Steuerung von Prozessausrüstungen oder Förderbändern, bei denen ein präzises Timing erforderlich ist, sowie die Steuerung von CNC-Anlagen oder Robotern, die auf Echtzeit-Positionserfassung und Motorsteuerung angewiesen sind, um eine perfekte Koordination zu gewährleisten. Weitere zeitkritische Anwendungen sind die verteilte Überwachung, bei der Messungen von mehreren Standorten – beispielsweise von Schwingungssensoren, die in einer Maschine oder einer Struktur platziert sind – synchronisiert werden müssen, um eine genaue Analyse zu ermöglichen.

Derzeit sind mehrere industrielle Ethernet-Implementierungen auf dem Markt, wie Modbus TCP/IP, EtherCAT, Ethernet/IP, Powerlink und Profinet. Die Unterschiede zwischen ihnen machen es erforderlich, dass sich die Nutzer auf eine von ihnen festlegen und damit gleichzeitig alle anderen ausschließen.

Mit der Einführung des IIoT müssen Unternehmensnetzwerke auf zusätzliche Anforderungen reagieren, beispielsweise auf eine erhöhte Bandbreite, die es dem Betriebsnetzwerk ermöglicht, die großen Datenmengen aus einer Vielzahl von Datenkanälen zu verarbeiten und diese zur Speicherung und Analyse an IT-Systeme und die Cloud weiterzuleiten. Darüber hinaus müssen Anlagen, die mit OT-Netzwerken verbunden sind, nun vor Cyberangriffen geschützt werden, die sowohl stark sind als auch mit neuen und sich entwickelnden Bedrohungen Schritt halten können.

Diese Anforderungen an Interoperabilität, Skalierbarkeit und Sicherheit stärken die Argumente für eine einheitliche Netzwerktechnologie, die innerhalb der Ethernet-Spezifikationen standardisiert und in der Lage ist, die industriellen Anforderungen nach geringer Latenz und einer deterministischen Echtzeitantwort zu erfüllen und gleichzeitig den konventionellen Ethernet-Best-Effort-Verkehr zu unterstützen.

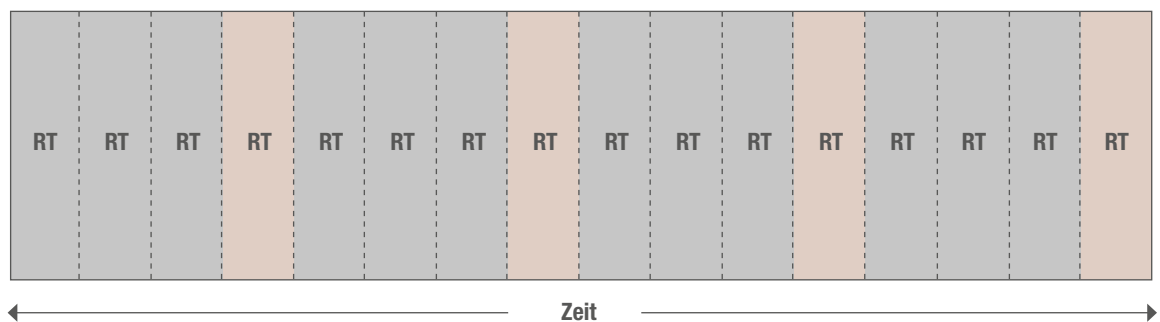
Standard-Ethernet und zeitkritischer Datenverkehr

In Standard-Ethernet-Netzwerken wird die Kommunikation nach CSMA/CD – Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection (Mehrfachzugriff mit Trägerprüfung und Kollisionserkennung) – geregelt. Alle Geräte teilen sich ein gemeinsames Medium und koordinieren die Sendedaten, indem sie erkennen, ob das Netzwerk im Leerlauf ist. Der Ethernet-Frame enthält die Adresse des Zielgeräts. Alle Geräte im Netzwerk empfangen jedes Paket, vergleichen das Ziel mit ihrer eigenen Adresse und werfen das Paket, wenn es keine Übereinstimmung gibt. Da das Medium gemeinsam genutzt wird, versetzt die Kollisionserkennung Geräte in die Lage, festzustellen, ob ein anderes Gerät gleichzeitig sendet, und eine zufällige Zeitspanne abzuwarten, bevor es erneut sendet.

Netzwerk-Switches ermöglichen es, unvorhersehbare Verzögerungen durch Kollisionen zu vermeiden. Das Potenzial, die Latenz so zu reduzieren, dass die Verzögerungen deterministisch werden und sich damit besser für industrielle Anwendungen zu eignen, ist klar. Einige Probleme bleiben jedoch bestehen. Typische kommerzielle Store-and-Forward-Switches warten vor dem Weiterleiten auf das Eintreffen des gesamten Datagramms, was bei unzureichender Pufferkapazität für lange Datagramme zu Verzögerungen oder gar Datenverlust führen kann, insbesondere wenn viele Switches kaskadiert sind. Industrial-Ethernet-Topologien können Switches verwenden, die mit der Weiterleitung beginnen, bevor das gesamte Datagramm empfangen wird. Mit einem Quality of Service (QoS), das die Priorisierung von Ethernet-Datagrammen ermöglicht, kann ein Protokoll wie Profinet, das Ethernet als gemeinsames Medium verwendet, eine weiche Echtzeitleistung mit Zykluszeiten bis zu 1 ms und Jitter im Bereich von 10 – 100 µs erreichen. Dies reicht jedoch für die anspruchsvollsten Anwendungen nicht aus. Als Lösung sind verschiedene Ansätze entstanden.

Profinet Isochronous Real-Time (IRT-Kommunikation) ist ein Beispiel für eine industrielle Ethernet-Erweiterung in harter Echtzeit. Die verfügbare Bandbreite ist in Zeitscheiben unterteilt, von denen eine für den hoch priorisierten IRT-Verkehr reserviert ist (Abbildung 1). Ein hochgenauer Takt wird benötigt, um festzustellen, wann die IRT-Zeitscheibe beginnen und enden soll. Das IRT stützt sich bei der Herstellung dieser Präzisionstaktgeber auf Elemente der IEEE 1588-Spezifikation. Es muss auch Nicht-IRT-Daten puffern, die während der für IRT reservierten Zeitfenster übertragen werden.

Abbildung 1. IRT-Zeitscheiben gewährleisten eine dedizierte Bandbreite für harten Echtzeit-Datenverkehr.¹



Andere proprietäre industrielle Ethernet-Spezifikationen verfolgen unterschiedliche Ansätze, um eine niedrige Latenz oder harte Echtzeit-Performance zu erreichen. Echtzeit-Ethernet-Feldbusprotokolle wie EtherCAT oder SERCOS verwalten die Bandbreite und gewährleisten die Echtzeit-Performance, müssen aber das Ethernet-Medium selbst steuern.

Diese unterschiedlichen Ansätze zeigen, dass es mehrere Möglichkeiten gibt, die für die Unterstützung von Hart-Echtzeit-Netzwerken erforderlichen Erweiterungen für Ethernet zu erstellen. Leider verhindert ihr proprietärer Charakter eine Interoperabilität und neigt dazu, Kunden an bestimmte Topologien, Gerätetypen und Anbieter zu binden. Derzeit gibt es über 40 Feldbusvarianten und mehr als 15 verschiedene Industrial-Ethernet-Varianten.

Interoperabilität und Herstellerneutralität sind nicht die einzigen Opfer proprietärer industrieller Ethernet-Spezifikationen. Sie sind in der Regel auch für eine bestimmte Geschwindigkeit ausgelegt, wie z.B. 1 Gb oder 10 Gb. Um mit den wachsenden Datenanforderungen von IIoT Schritt zu halten, müssen industrielle Anwender die Vorteile der Bandbreitenskalerung nutzen, die mit der Entwicklung von Standard-Ethernet verbunden ist, ganz zu schweigen von den Sicherheitsvorkehrungen.

Als Erweiterung existieren industrielle Ethernet-Protokolle auf Schichten über Ethernet, welche die Schichten 1 (Physical Layer) und 2 (Data Link Layer) des Standard OSI-Netzwerkstacks definieren (Abbildung 2). Ließen sich im Rahmen der standardisierten Ethernet-Technologie in den unteren Schichten geeignete Features implementieren, könnte der Bedarf an proprietären Erweiterungen für die Echtzeitkommunikation entfallen.

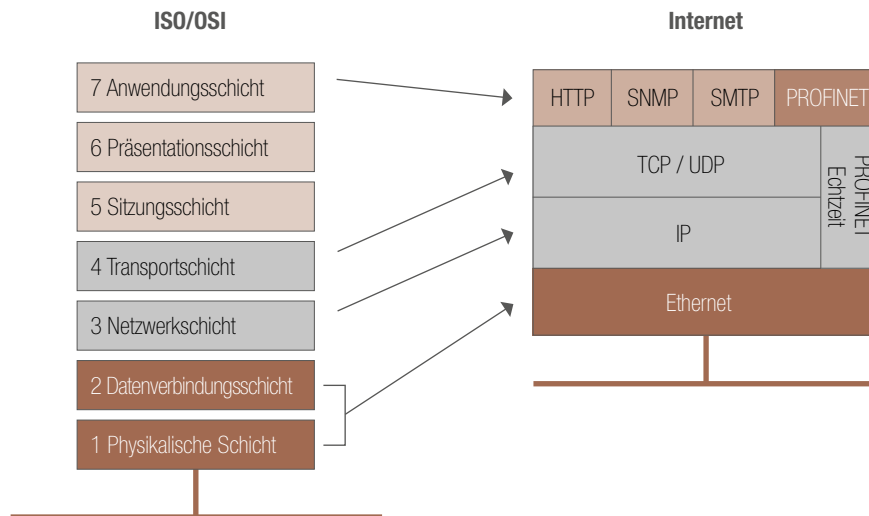


Abbildung 2. Ethernet standardisiert die Schichten 1 und 2. Für die Ende-zu-Ende-Kommunikation sind Anwendungsschicht-Protokolle erforderlich.²

Zeit für TSN?

Time Sensitive Networking (TSN) führt mehrere Mechanismen ein, die innerhalb der IEEE 802.1 Ethernet Spezifikationen auf den Schichten 1 und 2 standardisiert sind, um dies zu ermöglichen. Dazu gehören IEEE 802.1AS, das Timing und Synchronisation für zeitkritische Anwendungen abdeckt, und IEEE 802.1Q, in das mehrere Einzelstandards wie 802.1Qbv für zeitkritische Planung und 802.1Qcc für TSN-Systemkonfiguration integriert sind. IEEE 802.1AS basiert auf einem Profil von IEEE 1588, welches das Precise Time Protocol (PTP) definiert. Obwohl IEEE 1588 für zeitsensible Anwendungen entwickelt wurde, ist es nicht Teil von IEEE 802.1 und enthält optionale Profile, welche die Interoperabilität zwischen Geräten verschiedener Hersteller erschweren.

Die Standards, die TSN umfassen, ermöglichen es dem gewöhnlichen Ethernet, die erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, um Staus bei zeitkritischem Datenverkehr zu beseitigen und eine niedrige und garantierte Worst-Case Ende-zu-Ende-Latenzzeit zu gewährleisten – zum Beispiel die Reservierung von Ressourcen für zeitkritischen Datenverkehr und die Anwendung von Warte- und Shaping-Systemen. Auf diese Weise ermöglicht TSN eine deterministische Netzwerkkommunikation, die den Zeit- und Steuerungsanforderungen der industriellen Automatisierung ohne proprietäre Erweiterungen der Ethernet-Protokolle gerecht wird. Die TSN-Standards ermöglichen zudem Netzwerktopologien wie Stern, Ring oder Leitung und legen die Anzahl der Switches im Netzwerk fest. Auch für die Redundanz ist gesorgt. Gleichzeitig ermöglicht TSN ein einziges überbrücktes Ethernet-Netzwerk, das von verschiedenen Anwendungen mit unterschiedlichen QoS-Anforderungen gemeinsam genutzt wird, um zeitkritischen Datenverkehr und Nicht-TSN-Bestwert-Daten zu übertragen.

Die Standardisierung der Bestimmungen für zeitsensible Netzwerke bringt für TSN mehrere wichtige Vorteile mit sich. Einer davon ist die Skalierbarkeit: Während frühere Echtzeit-Erweiterungen für eine bestimmte Datenrate definiert wurden, kann TSN mit der zunehmenden Bandbreite skalieren, die durch aufeinanderfolgende Generationen der Standard-Ethernet-Spezifikation bereitgestellt wird. Darüber hinaus können die bereits in IT-Netzwerken eingesetzten Sicherheitsmechanismen auf OT-Netzwerke mit TSN angewendet werden, was die Widerstandsfähigkeit erhöhen und den Zugang zu neuen Updates beschleunigen könnte, die zur Bewältigung neuer Cyberbedrohungen eingeführt wurden.

Außerdem hat ein gemeinsamer Standard für die Echtzeitkommunikation das Potenzial, den Markt zu vereinheitlichen und damit Industrial-Ethernet -Anwendern Skaleneffekte wie in der IT-Welt zu ermöglichen. Die Netzwerkinstallation und -wartung kann ebenfalls rationalisiert werden, und TSN-Geräte können zudem in anderen Bereichen als der Fabrikhalle eingesetzt werden, beispielsweise in der Gebäudeautomatisierung, der Energieverteilung, der Vernetzung von Fahrzeugsteuerungen sowie in der professionellen Audio- und Videotechnik. Tatsächlich begann die Standardisierungsarbeit, die zu TSN führte, mit IEEE 802.1 Audio Video Bridging (AVB) zur Unterstützung von Audio und Video mit niedriger Latenz und Synchronisation. TSN enthält ein veröffentlichtes Profil für AVB (802.1BA) sowie für Mobilfunk-Fronthaul (802.1CM), und die laufenden Standardisierungsarbeiten sollen zu einem TSN-Profil für die industrielle Automatisierung auf Basis von IEC/IEEE 60802 führen. Die Profile vereinfachen die Auswahl verschiedener Funktionen und Optionen und helfen beim Aufbau von Netzwerken für Anwendungsfälle wie AVB und Fronthaul, um die Interoperabilität zu verbessern und die Bereitstellung zu erleichtern.

Hervorzuheben ist auch, dass TSN nicht nur die Vorteile von Standard-Ethernet in den industriellen Bereich bringt, sondern auch die Echtzeitkommunikation über OT-Netzwerke hinaus erweitert und damit die Entwicklung neuer IT-Anwendungen unterstützt.

Fortgesetzte Bemühungen um Interoperabilität

Während TSN die Echtzeitkommunikationsfähigkeiten auf den unteren Schichten erfolgreich standardisiert hat, bleibt die Möglichkeit der kontinuierlichen Nutzung konkurrierender Protokolle auf der Anwendungsschicht bestehen. Dies könnte als potenzielles Hindernis für die Interoperabilität angesehen werden. Es ist aber auch wahr, dass Netzwerke, die derzeit auf Industrial-Ethernet-Protokolle angewiesen sind, diese weiterhin verwenden können, während sie TSN wie gewünscht übernehmen.

Andere Brancheninitiativen arbeiten daran, die Interoperabilität zu gewährleisten und die Vorteile der Netzkonvergenz unter Nutzung des TSN zu maximieren. Das Industrial Internet Consortium hat das TSN Testbed als Plattform für Geräteanbieter geschaffen, um Implementierungen und Interoperabilität bei Plugfest-Events zu testen. Die AVNU Alliance nutzt die Arbeit von IEEE und IEC, wie beispielsweise die gemeinsame Arbeitsgruppe 80802, um Testpläne und -verfahren zu erstellen, die den Herstellern helfen, TSN-Produkte zu entwickeln, die mit denen anderer interoperabel sind.

Angesichts der starken Rolle, die TSN wohl bei der Verbesserung industrieller Big Data-Anwendungen spielen wird, ist es wichtig, dass auch eine Standardlösung für die Kommunikation zwischen industriellen Steuerungen und der Cloud gesucht wird. Ein Konsortium von Automatisierungs- und IT-Anbietern fördert OPC UA über OPC UA über TSN als die bestgeeignete Lösung und nutzt die Geschwindigkeit der Publish/Subscribe-(Pub/Subscribe-)Technologie von OPC UA.

Digitale Unternehmensnetzwerke können die Vorteile der Einheitlichkeit, Skalierbarkeit und Sicherheit des standardisierten Ethernet nutzen, indem sie ein Industrial-Ethernet-Anwendungsschichtprotokoll auf Feldebene einsetzen und OPC UA für die vertikale Kommunikation mit der Cloud verwenden (Abbildung 3).

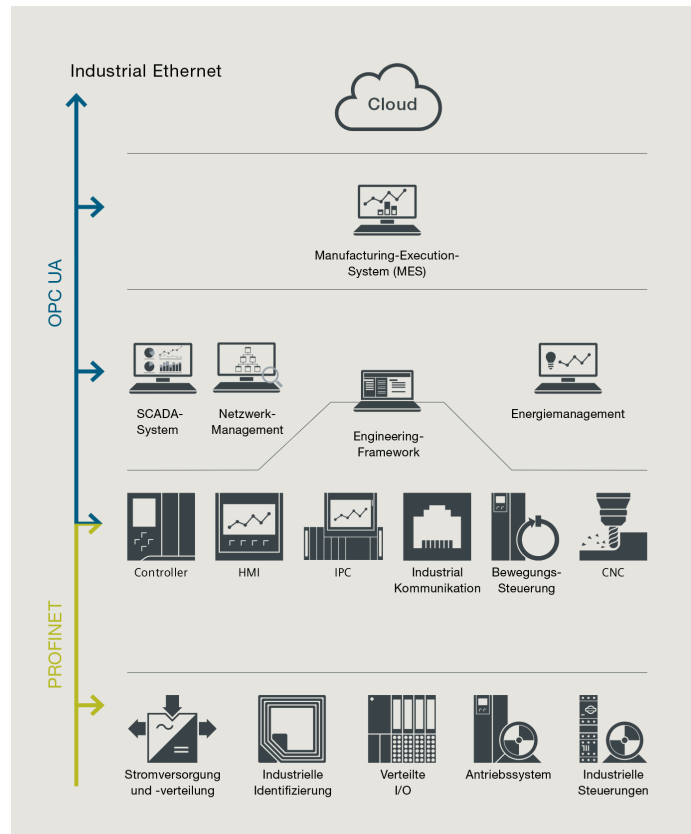


Abbildung 3. Eine vereinheitlichte Infrastruktur kann Protokolle der Ethernet-Anwendungsschicht mit OPC UA mischen.³

Fazit

TSN bringt einfache Interoperabilität und Skaleneffekte für OT-Netzwerke in Anwendungsfälle wie die Industrieautomatisierung, professionelles Audio/Video, Gebäudeautomatisierung, Fahrzeugsteuerung und Infotainment. Darüber hinaus und angetrieben durch die Entstehung des IIoT – mit seinen Anforderungen an größere Bandbreite, Skalierbarkeit und Sicherheit – lässt TSN die OT-Kommunikation von der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Standard-Ethernet-Spezifikationen profitieren, die zum Schutz von IT-Netzwerken und zur Leistungssteigerung entwickelt wurden.

Die Normungsarbeiten für das TSN dauern an, einschließlich der Entwicklung des Profils 60802 für die industrielle Automatisierung. Interoperabilitätsinitiativen sind ebenfalls im Gange, mit dem Ziel, sicherzustellen, dass Ökosystem-Akteure und Anwender von vernetzten Automatisierungssystemen die größtmöglichen Vorteile einer standardisierten Echtzeitkommunikation über Ethernet nutzen können.

¹ <https://profinetuniversity.com/profinet-basics/isochronous-real-time-ii-communication/>

² <http://profineews.com/2017/07/profinet-and-iiot/>

³ https://assets.new.siemens.com/Siemens/assets/public/1532340167_2e1b43b59229eba58e69098f26a7c5e4f2461457.dffa-b10293-02-7600-opc-ua-flyer-72dpi.pdf



Über TTI

TTI, Inc. ist der weltweit führende Spezialist für Passive und elektromechanische Bauelemente, Steckverbinder sowie Diskrete Halbleiter, Schaltnetzteile und Sensoren. Ausgewählte Lieferanten sowie unterschiedlichste Logistik-Lösungen unterstützen Kunden in den Marktsegmenten Industrie, Transportation, Luft-, Wehr-, und Raumfahrttechnik sowie in der Haushalts- und Unterhaltungselektronik.

Die Produktpalette von TTI umfasst Bauteile wie Widerstände, Kondensatoren, Steckverbinder, Diskrete Halbleiter, Opto Elektronische Bauelemente, Elektromagnetische Bauelemente sowie Bauteile für den Schaltkreisschutz. Das Angebot umfasst außerdem Kabel und Drähte – diese auch konfektioniert; Netzteile, Entwicklungskits, Sensoren und Elektromechanische Bauelemente.

Übersichten und Informationen zur Marktentwicklung und Technologie sowie Updates etc. stellt TTI über das MarketEye Research Center zur Verfügung. Kunden können hier Fachbeiträge, technische Seminare, RoHS, allgemeine Seminare, Industrieforschungsberichte und vieles mehr abrufen.

Die TTI Produktpalette, kundenorientierter Service sowie die angebotenen Logistiklösungen machen TTI zum bevorzugten Distributor (CMP Publications). Weltweit beschäftigt TTI über 5600 Mitarbeiter an mehr als 100 Standorten in Europa, Amerika und Asien.

Europäischer Hauptsitz:

TTI, Inc.
Ganghoferstr. 34
82216 Maisach-Gernlinden
Deutschland
Tel.: +49 (0)8142 6680 – 0
Fax: +49 (0)8142 6680 – 490
Email: sales@de.ttiinc.com
www.ttieurope.com

Copyright © TTI, Inc. All Rights Reserved.