

White Paper

TSN

Time Sensitive Networking



Einleitung

Die industrielle Automatisierungstechnik ist, je nach Zeitalter und Anwendung, seit den Achtzigern durch verschiedenste Feldbusse und Protokolle zur Kommunikation zwischen den einzelnen Feldgeräten und der Steuerung geprägt. Bislang erfüllen diese spezifischen Feldbusse die Echtzeitbedingungen der jeweiligen Anwendung, sind jedoch untereinander inkompatibel.

In der IT hat sich hingegen Ethernet als die bevorzugte Datenübertragungstechnologie durchgesetzt. Das heute verwendete Ethernet ist seit 1983 in der IEEE 802.3 festgelegt worden. Damit ist nach dem OSI – Netzwerk Referenzmodell die Schicht 1 (Physical Layer) und Schicht 2 (Data Link Layer) festgelegt. Bekannt sind hier die Datenübertragung über LAN-Kabel mit 100Mbit/s; 1Gbit/s; 10Gbit/s, über WLAN (IEEE 802.1) oder über optische Fasern.

Bisher war es üblich, IT und OT (Operational Technology) bzw. die industrielle Automatisierungsebene voneinander getrennt zu halten. In der Ära von Industrie 4.0 und Internet of Things (IoT) ändert sich dieser Ansatz nun radikal. IT und OT sollen und müssen nahtlos ineinandergreifen, um die reale und digitale Welt miteinander zu verschmelzen. Nur so lassen sich wichtige Sensor- und Produktionsdaten in Big-Data-Systemen oder Cloud-Anwendungen erfassen, analysieren und gezielt Produktionsverbesserungen durchführen.

Es wäre naheliegend, Ethernet zur Datenübertragung in beiden Welten zu nutzen. Jedoch eignet sich das bisherige (Standard) Ethernet nicht für Echtzeitanforderungen, da es Datenpakete nur nach "best effort" schicken kann und somit zeitsynchrone Übertragung der Daten nicht möglich ist.

Als neuer Übertragungsstandard etabliert sich daher zunehmend "Time Sensitive Networking (TSN)". Der TSN Standard wird in der IEEE 802.1 Working Group spezifiziert siehe: (<http://www.ieee802.org/1/pages/tsn.html>)

TSN basiert auf (Standard) Ethernet und ermöglicht deterministische OT-Datenübertragung mit garantierter Latenz und QoS, parallel zum herkömmlichen IP-Traffic (z.B. aus der IT) auf demselben Medium. Damit steht einer Verschmelzung beider Welten nichts mehr im Wege.



Inhalt

Übersicht Echtzeitkommunikation	4
Drahtloses Ethernet mit 5G	6
TSN Standard	7
TSN in der Automatisierung	9
PROFINET over TSN	10

Übersicht Echtzeitkommunikation

Als der erste Ethernet-Standard entwickelt wurde, war der Erfolg nicht abzusehen. Wer erinnert sich heute noch an Fiber Distributed Data Interface FDDI, dem Asynchronous Transfer Mode ATM oder Token Ring?

Inzwischen beherrscht Ethernet alle Bereiche der lokalen Datenübertragung. Alle? Nein, denn überall wo Echtzeit gefordert ist spielt Ethernet bisher nur eine untergeordnete Rolle.

Eine Übersicht über systemspezifische Lösungen für Echtzeitkommunikation in der industriellen Kommunikation wird in Abbildung 1 gezeigt.



Abb. 1 Systemlösungen für Echtzeitkommunikation

EtherCAT arbeitet auf der Physik des Ethernets kann aber nicht mit Ethernet in einer Leitung koexistieren. EtherCAT hat eine spezifische Hardware, die nicht für Ethernet geeignet ist.

EtherCAT-Datagramme werden im Durchlauf bearbeitet. Dabei werden Lese- und Schreibzugriffe immer nur auf einem kleinen Ausschnitt des gesamten Telegramms ausgeführt. Das Telegramm wird sofort zum nächsten EtherCAT-Gerät weitergeleitet. Die Frames werden vom EtherCAT-Gerät nur in dieser Richtung bearbeitet und zum nachfolgenden Gerät weitergeleitet, bis das Telegramm alle Geräte durchlaufen hat. Das letzte Gerät sendet das Telegramm auf dem zweiten Leitungspaar im Kabel in „Forwarding Direction“ zurück zum Master. Dabei bildet EtherCAT immer eine logische Ringstruktur, unabhängig von der gewählten Topologie. Damit ist EtherCAT ein eigener Feldbus, der nicht direkt im Ethernet oder zukünftigen TSN integrierbar ist.

Etablierte Feldbusse wie PROFINET IRT, Ethernet IP, SERCOS III, ETHERNET POWERLINK können heute Daten in Echtzeit transportieren. Dieses jedoch nur im jeweils eigens dafür modifizierten physikalischen Layer 2 (spezifische Hardware). Damit sind es nur Insel-Lösungen. Sie sind nicht miteinander kompatibel und entsprechen nicht dem Standard Layer2 für Ethernet.

Time Sensitive Network (TSN) wird neu auf IEEE 802.1 standardisiert und basiert auf einem Standard Layer 2 für Ethernet mit Synchronisation, kleinen oder festen Latenzzeiten für die Daten-Pakete und extrem geringen Paketverlusten.

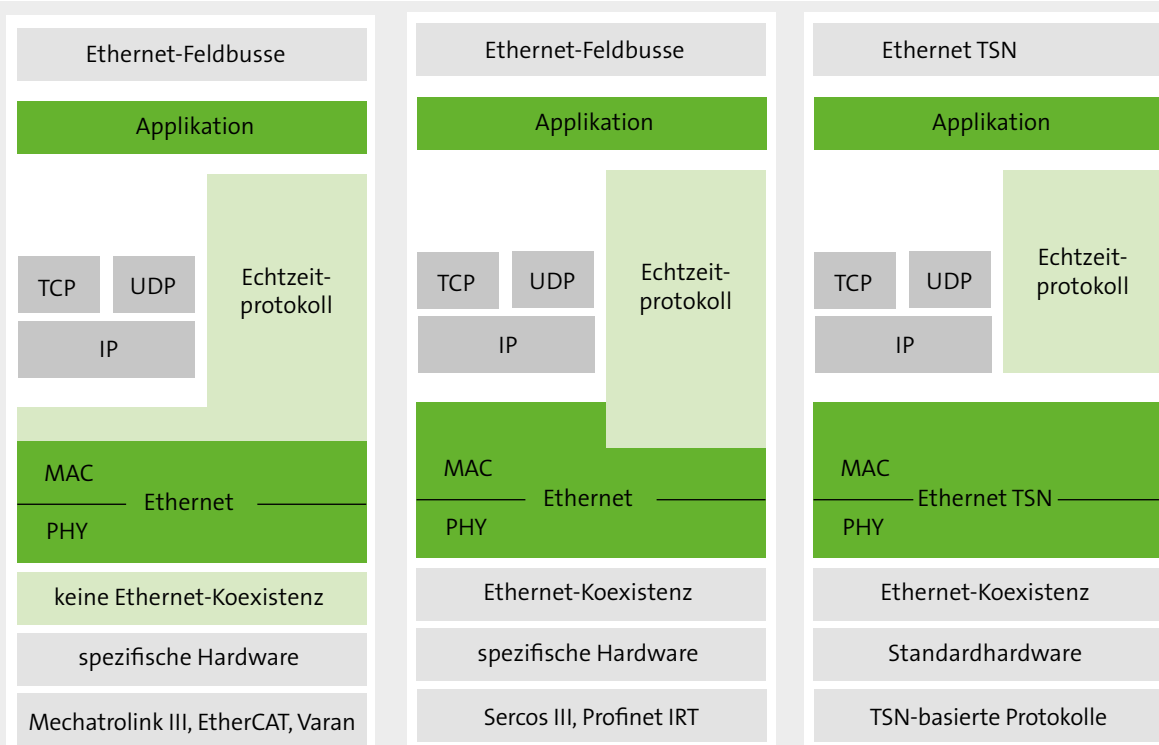


Abb. 2 Die Entwicklung vom Feldbus zu Ethernet TSN im OSI-Referenzmodell

Drahtloses Ethernet mit 5G

5G hat das Potenzial, eine drahtlose Anbindung für eine Vielzahl von industriellen Anwendungen (Ethernet) zu bieten. Langfristig kann es tatsächlich zu einer Konvergenz der vielen verschiedenen Kommunikationstechnologien führen, die heute im Einsatz sind. Damit kann die Zahl der relevanten industriellen Verbindungslösungen deutlich reduziert werden. In der ITU-T/IEEE wird momentan die TSN-Anwendbarkeit für 5G-Dienste untersucht.

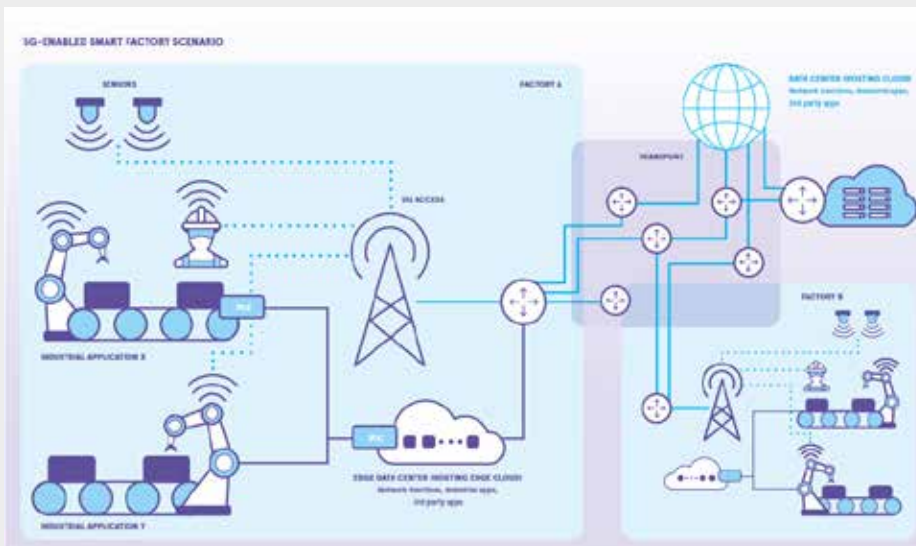


Abb. 3 5G Smart Factory Scenario

Quelle ZVEI (AMPERE 2.2018)

Aufgrund der Verfügbarkeit von zwei Ausbreitungsfrequenzen 3,7-3,8GHz und 26GHz Band für private Netze können Industrieanlagenbesitzer autark 5G Basis-Stationen einsetzen. (Stand laut ZVEI „Industrie 4.0 Konferenz / 12. Dezember 2018)

Anwendungsfall		Verfügbarkeit	Zykluszeit (ms)	Payload (bytes)	Anzahl Geräte	Service area (m)
Motion Control	Druck-M.	>99.9999%	< 2	20	>100	100x100x30
	Werkz-M.	>99.9999%	< 0	50	~20	15x15x3
	Verpack-M.	>99.9999%	< 1	40	~50	10x5x3
mobile Roboter	Cooperative	>99.9999%	1	40-250	100	1000x1000
	Video Rem.	>99.9999%	10-100	15-15k	100	1000x1000
mobile Panels m. Safety Funkt.	Fräs-M.	>99.9999%	4-8	40-250	4	10x10
	Mob. Kran	>99.9999%	12	40-250	2	40x60

Tab. 1 Anwendungsfälle in der Automation Quelle ZVEI: 5G

Funktionale Sicherheit wird eine der wichtigsten Aspekte für die Anwendung von 5G in Industrie-Umgebungen werden.

TSN Standard

Obwohl Ethernet die am meisten verbreitete Netzwerktechnologie ist, arbeitet es nur auf einer „best effort“ Basis die Datenpakete in einem Netzwerk zu übertragen. TSN (Time Sensitive Networking) ermöglicht, dass Ethernet eine deterministische Netzwerktechnologie wird. Die wichtigsten Eigenschaften von TSN und seinen zukünftigen Standards sind:

- Synchronisation von Netzwerkelementen: Endpunkte, Switche und Gateways
- Kontrollierte und berechenbare Verzögerung (Latency)
- Priorisierung von Verkehrsflüssen
- Garantierte Bandbreiten-Reservierung
- Redundanz (Ring)
- Zuverlässigkeit

TSN besteht aus vielen Standards, die ausschließlich für verschiedene Themen und Funktionen entwickelt wurden und werden. In folgender Tabelle sind aktive und in Entwicklung befindlichen Standards für TSN dargestellt:

TSN Standards	Titel	Bemerkungen
IEEE 802.1Qbv	Scheduled Traffic	Final 2015
IEEE 802.3br	Interspersing Express Traffic	Final 2016
IEEE 802.1ASrev	Timing and Synchronisation	Definiert bis auf red. Zeitsynchronisation
IEEE 802.1Qbu	Frame Preemption	In Definition / HW-spezifisch
IEEE 802.1Qch	Cyclic Queuing and Forwarding	Definiert
IEEE 802.1Qcr	Asynchronous Traffic Shaping	Definiert
IEEE 802.1CB	Frame Replication and Elimination	Definiert
IEEE 802.1Qca	Path Control and Reservation	Definiert , ongoing in P802.1Q-REV
IEEE 802.1Qcc	SRP Enhancements	In Definition
IEEE 802.1Qci	Stream Filtering and Policing	In Definition

Tab. 2 TSN Standards (aus <http://www.ieee802.org/1/pages/tsn.html>)

TSN hat das Ziel, Funktionen auf OSI-Layer 2 zu standardisieren, damit unterschiedliche Protokolle dieselbe Infrastruktur nutzen können. So ist TSN vollständig kompatibel zu herkömmlichen IT-Netzwerken und alle höheren Schichten können davon profitieren, wenn TSN-Funktionen zur Verfügung stehen (Abbildung 2).

Die Herausforderung dabei ist, die Koexistenz von kritischem und nicht kritischem Traffic im selben Netz so zu organisieren, dass Echtzeitcharakteristik und Performance nicht beeinträchtigt werden. Ist das gewährleistet, können Produktions- und IT-Netze dieselbe Infrastruktur nutzen.

TSN wird nicht als Gesamtstandard für Echtzeit-Ethernet verabschiedet. Vielmehr entwickelt es sich zu einem Bausatz, der durch immer neue Ergänzungen die Einsatzmöglichkeiten von Ethernet erweitert. Das lässt sich daran ablesen, dass viele neue Projekte aufgenommen wurden, die sich noch in der Entwicklungsphase befinden (siehe Tabelle 2).

Die Vielzahl separater Standards erklärt sich damit, dass die TSN Task Group einzelne Techniken unabhängig voneinander halten will. Sie lassen sich beliebig kombinieren. Für einfache und kostengünstige Komponenten lassen sich die Standards aber auch einzeln implementieren.

Viele TSN-Techniken müssen direkt in die Hardware von Switches und Mikroprozessoren implementiert werden. Hierfür sind Chipproduzenten wie Broadcom, Intel, Marvell, Texas Instruments, NXP, Renesas, Hilscher bereits an der Entwicklung der TSN-Standards beteiligt. Hersteller entsprechender Produkte haben sich in der Avnu Alliance (<https://avnu.org/>) zusammengeschlossen, um ein Ökosystem rund um TSN zu schaffen, Interoperabilität zu gewährleisten und Applikationen zu programmieren. Zudem zertifiziert diese Allianz auch Produkte.

TSN in der Automatisierung

Aktuell gibt es in der Automatisierung mehrere inkompatible Feldbusse, die auf Ethernet basieren. TSN als neuer Standard für niedrigere Kommunikations-Schichten bietet eine hohe Interoperabilität für die deterministischen Anforderungen auf der Feldebene. Zusammen mit OPC UA-Standards für die Applikations-Ebene wird eine offene Architektur geschaffen. OPC UA TSN verbindet die IP-basierte Welt der Informationstechnologie mit den Protokollen für harte Echtzeit-Anforderungen.

Mit TSN können Anwender zeitkritische Daten über dasselbe Netzwerk wie Standard-Daten bei Datenraten bis zu 10 Gbit/s versenden.

Auf der SPS IPC Drives 2018 gab die OPC Foundation eine Reihe von Details rund um das Thema OPC UA over TSN bekannt: Zum einen weitete sie die Standardisierungs- und Harmonisierungs-aktivitäten für OPC UA nun auch auf TSN-fähige Ethernet-Netzwerke für die Feldebene aus. Zum anderen konnten sie Siemens für dieses Vorhaben gewinnen. Damit wird die nun bei der OPC Foundation aufgehängte Field Level Communications Initiative, auf einen soliden Boden mit breitem Unterstützerkreis gestellt.

(Quelle: DIGITAL FACTORY JOURNAL 30.09.2018)

Insgesamt wird das Thema OPC UA über TSN seit dem 27.11.2018 von insgesamt 22 Firmen unterstützt: ABB, Beckhoff, Bosch-Rexroth, B&R, Cisco, Hilscher, Hirschmann, Huawei, Intel, Kalycito, Kuka, Mitsubishi Electric, Molex, Omron, Phoenix Contact, Pilz, Rockwell Automation, Schneider Electric, Siemens, TTEch, Wago und Yokogawa.

siehe Pressemitteilung „Major Automation Industry Players join OPC UA including TSN initiative“ der OPC FOUNDATION:

<https://opcfoundation.org/news/press-releases/major-automation-industry-players-join-opc-ua-including-tsn-initiative/>

Damit haben Hersteller aller heutigen relevanten Ethernet-basierenden Feldbusse TSN als zukünftige Basiskommunikationsschicht anerkannt.

PROFINET over TSN

PROFINET over TSN benötigt folgende 4 IEEE-Änderungen (amendments), von denen 3 bereits final sind: IEEE 802.1Qbv, IEEE 802.1br, IEEE 802.1Asrev (siehe Tab. 2) und IEEE 802.1Qbu in Definition ist.

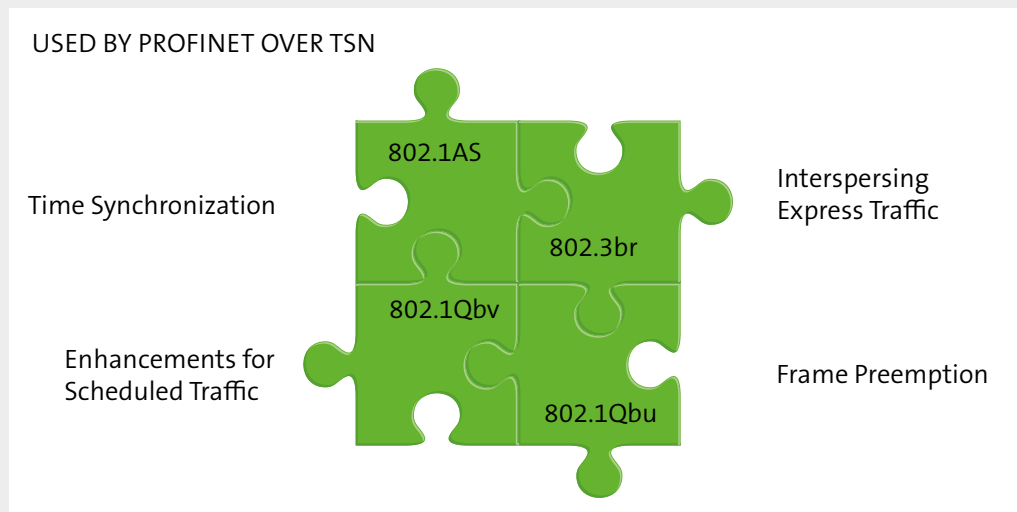


Abb. 4 IEEE TSN related amendments used (Quelle PI Dec. 2018)

PI (PROFIBUS & PROFINET International) hat die Veröffentlichung der Spezifikation zur Nutzung von PROFINET over TSN im ersten Quartal 2019 zum Ziel.

TSN wird dabei als Layer-2 konsequent eingesetzt. PROFINET RT (PN V2.3) kann an ein PROFINET over TSN Netzwerk integriert werden. PROFINET IRT (PN V2.3) bleibt konsequent ein eigener Layer-2 und ist nicht kompatibel mit TSN.

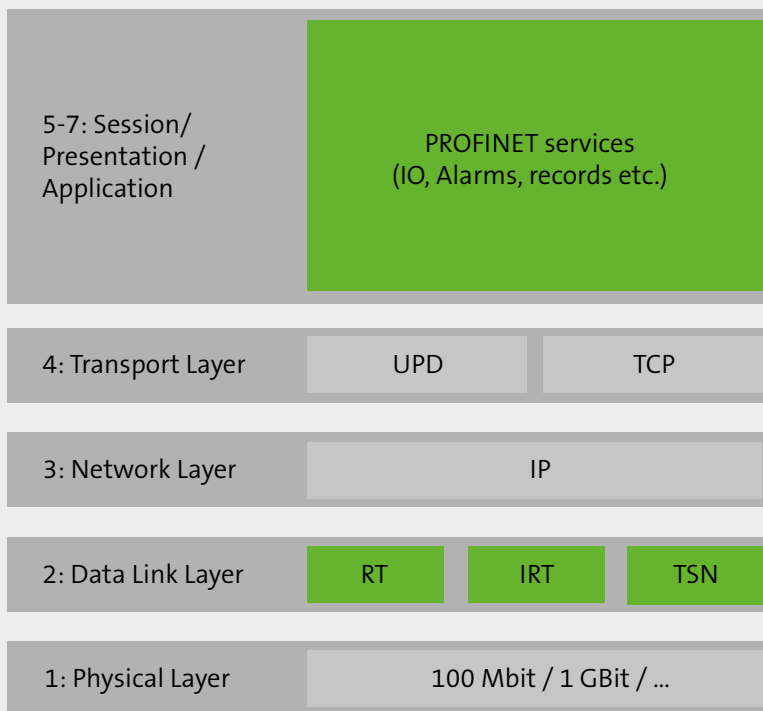


Abb. 5 PROFINET & TSN (Quelle PI HMI 2018)

Das Mapping und die Services von PROFINET wird in einer OPC UA Companion Spezifikation definiert. Um eine umfassende Lösung zu finden, begann 2017 eine PI OPC Arbeitsgruppe mit einer detaillierten Analyse auf der Grundlage von Anwendungsfällen. Die ersten Ziele sind Diagnose- und Asset-Management, um einen Mehrwert für die vertikale Integration zu schaffen.

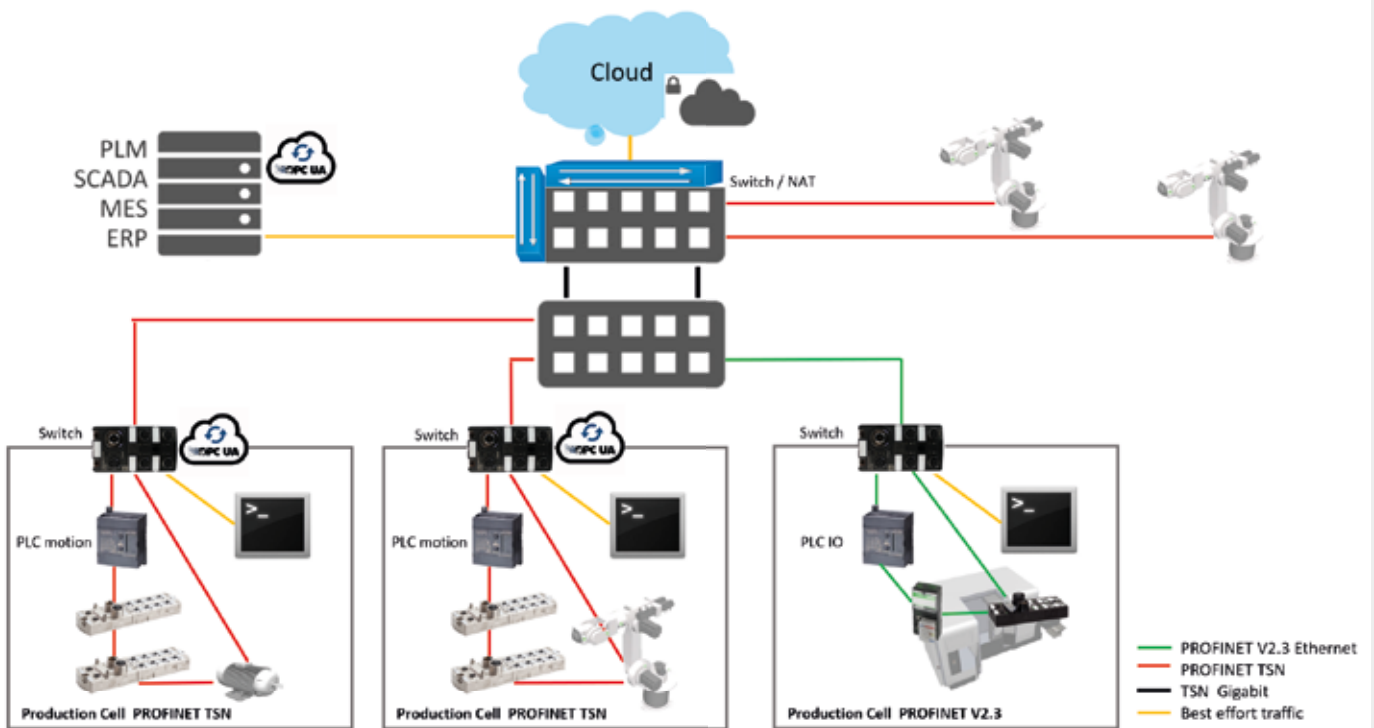


Abb. 6 Beispiel einer PROFINET Automations TSN-Hierarchie für Industrie 4.0



White Paper von

Mail

Peter.Lintfert@murrelektronik.de

Web

Product Manager Fieldbus, BU Automation**Phone: +49 (0) 7191 474 254**

Über den Autor

Dipl.-Ing. Peter Lintfert hat ein Studium der Elektrotechnik mit den Schwerpunkten Nachrichtentechnik und Datenverarbeitung 1989 an der Ruhr-Universität Bochum beendet. 20 Jahre war er in Backnang als System-Ingenieur im Bereich

Datenübertragung, Nachrichtentechnik (Ericsson) tätig. 2009 wechselte er in das Produktmanagement für industrielle Automation. Seit 2012 ist er Produktmanager für kompakte Feldbusmodule der Murrelektronik GmbH in Oppenweiler.

Über Murrelektronik

Murrelektronik ist ein international agierendes Familienunternehmen in der Automatisierungstechnik mit über 2700 Beschäftigten. Ziel und Aufgabe von Murrelektronik ist es, Maschinen- und Anlageninstallationen zu optimieren und dadurch die Wettbewerbsfähigkeit ihrer Kunden zu erhöhen. Die Dezentralisierung ist die Paradedisziplin: die Steuerungsebene in Maschinen und Anla-

gen wird mit bewährten Konzepten und neuen Technologien optimal mit der Sensor-Aktor-Ebene verbunden. Eine enge Kundenbeziehung ist entscheidend, um individuelle Lösungen für eine optimale Maschineninstallation zu entwickeln. Eine hohe Verfügbarkeit der Produkte rundet das Leistungsspektrum von Murrelektronik und das Kundenerlebnis ab.