

White paper

TSN

Time-Sensitive Networking



Úvod

V závislosti na době a použití, technika pro průmyslovou automatizaci byla od 80. let 20. století ovlivňována nejrůznějšími druhy sběrnic a protokolů, určenými k propojení jednotlivých zařízení s řídicím systémem. Do dnešního dne se pro různé účely využívají specifické sběrnice, které jsou vzájemně nekompatibilní.

To celé v kontrastu k IT, kde se Ethernet stal dominantním nástrojem pro přenos dat. Ethernet v dnešní podobě byl ustanoven standardem IEEE 802.3 v roce 1983. Vrstva 1 (fyzická vrstva) a vrstva 2 (linková vrstva) jsou tak definovány v souladu se síťovým referenčním modelem OSI. Dobře známými způsoby přenosu jsou např. přenos prostřednictvím kabelů LAN o rychlosti 100 Mb / s, 1 Gb / s a 10 Gb / s, dále WLAN (IEEE 802.11) nebo optickými vlákny.

Až dosud bylo zvykem držet IT (informační technologie) odděleně od OT (operačních technologií), neboli vrstvy průmyslové automatizace. Na prahu Průmyslu 4.0 a IoT (internetu věcí) prochází tento přístup radikální revizí. IT a OT musejí zapadnout do sebe za účelem pokrytí jak fyzického, tak i virtuálního světa. To je jediný způsob, jak zaznamenávat a zpracovávat klíčová data ze senzorů a procesů v systémech pro big data a v cloudových aplikacích a následně cíleně zdokonalovat produkci.

Přirozeně to svádí k myšlence použít Ethernet k přenosu dat v obou světech; bohužel, současný (standardní) Ethernet nesplňuje nároky na reálný čas, protože odesílání datových bloků je realizováno na principu best-effort, tedy nezaručeně. To vylučuje přenos časově synchronizovaných dat.

Proto se do popředí zájmu dostává přenosový standard nazývaný "Time-Sensitive Networking (TSN)". Ten je specifikován v IEEE 802.1 Working Group, viz <http://www.ieee802.org/1/pages/tsn.html>.

TSN je založen na (standardním) Ethernetu a umožňuje deterministický přenos dat z OT s garantovanou latencí a QoS, paralelně ke konvenčnímu IP provozu (např. z IT) po stejném médiu, čímž klesá cesta ke splnutí těchto dvou světů.

Obsah

Přehled komunikace v reálném čase	4
Bezdrátový Ethernet 5G.....	6
Standard TSN	7
TSN v automatizaci	9
PROFINET přes TSN	10

Přehled komunikace v reálném čase

V době, kdy byl vyvinut, úspěch prvního ethernetového standardu nebyl hotová věc. Ostatně, kdo si ještě dnes vzpomene na Fiber Distributed Data Interface (FDDI), Asynchronous Transfer Mode (ATM) nebo Token Ring?

Ethernet dnes dominuje ve všech oblastech lokálního přenosu dat. Ve všech? Ne tak docela, neboť tam, kde byl vyžadován reálný čas, Ethernet musel hrát druhé housle – až dosud.

Obrázek 1 uvádí přehled systémových řešení v podmínkách reálného času v průmyslové komunikaci.



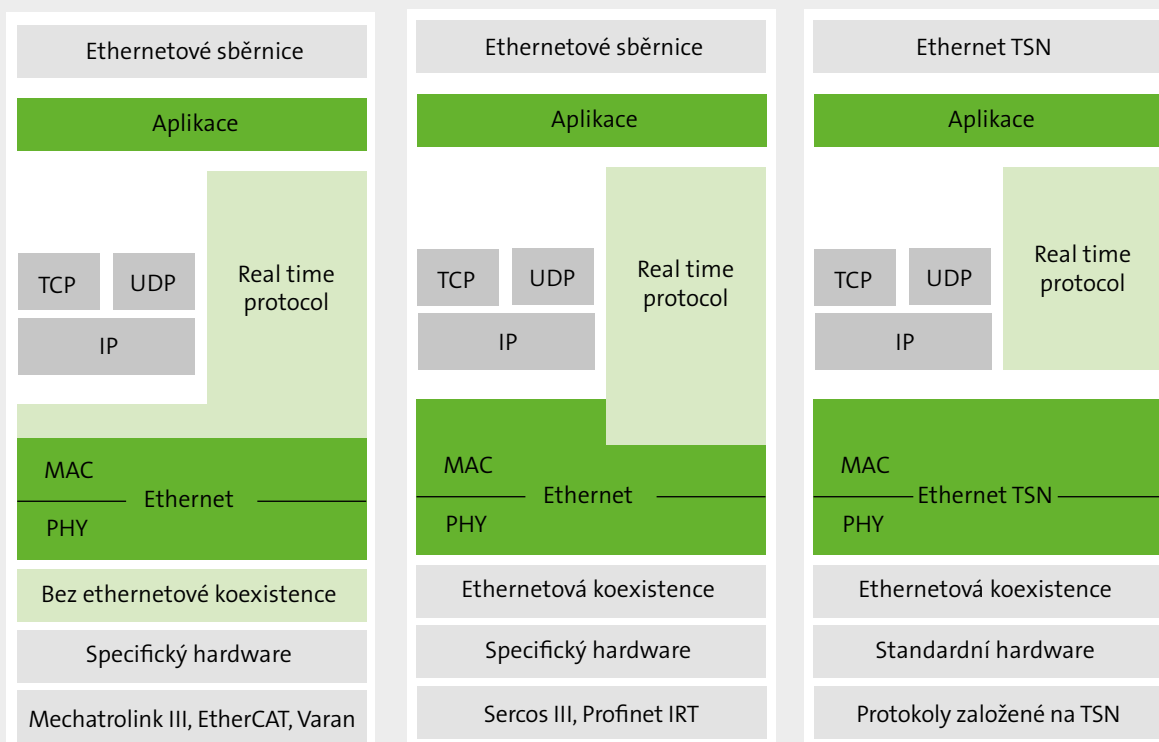
Obr. 1: Systémová řešení pro komunikaci v reálném čase

Tam, kde je použit Ethernet, nelze zároveň použít EtherCAT na stejném vedení. EtherCAT využívá speciální hardware, který není pro Ethernet vhodný.

S datagramy protokolu EtherCAT je nakládáno způsobem "on-the-fly", takže přístup každého zařízení ke čtení a zápisu je vždy omezen na malou část kompletního telegramu, který je vzápětí postoupen následujícímu zařízení EtherCAT. Rámce jsou zpracovávány výhradně v jednom směru a postupně předávány všem dalším zařízením. Poslední účastník vrátí telegram masteru druhou dvojlinkou v kabelu po směru předávání. Tímto způsobem EtherCAT vždy vytváří logický kruh, nezávisle na zvolené topologii. Proto je EtherCAT samostatnou sběrnici, kterou nelze přímo integrovat do Ethernetu nebo budoucího TSN.

V současnosti mohou zavedené sběrnice jako PROFINET IRT, Ethernet IP, SERCOS III nebo ETHERNET POWERLINK přenášet data v reálném čase. To ovšem mohou činit pouze na úrovni fyzické vrstvy 2, která byla upravena pro tyto účely (specifický hardware). Jedná se tedy o ohraničená řešení, která nejsou vzájemně kompatibilní a nejsou v souladu s vrstvou 2 ethernetového standardu.

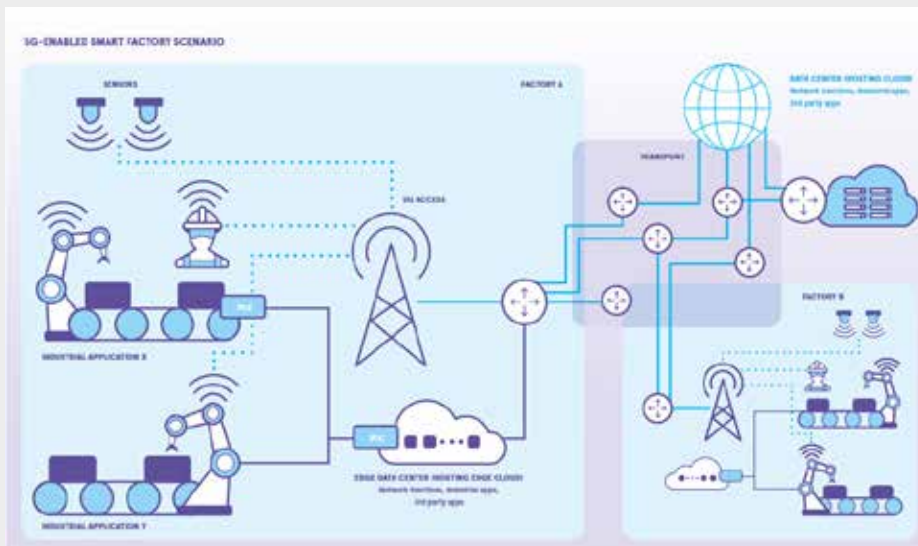
Time-Sensitive Networking (TSN) je definován v IEEE 802.1 a založen na standardní vrstvě 2 pro Ethernet se synchronizací, malou nebo fixní latencí datových balíčků a jejich zanedbatelnou ztrátovostí.



Obr. 2: Vývoj od sběrnice po Ethernet TSN v referenčním modelu OSI

Bezdrátový Ethernet 5G

5G má co nabídnout při využití bezdrátového přenosu v nejrůznějších průmyslových aplikacích. V delším časovém horizontu by mohlo dojít ke sloučení mnoha komunikačních technologií, které dnes využíváme. To by vedlo k významné redukci množství řešení nutných k realizaci průmyslové konektivity. Využitelnost TSN pro služby 5G je v současnosti posuzována Mezinárodní telekomunikační unií ITU-T/IEEE.



Obr. 3: Vizualizace chytré továrny s 5G

Zdroj: ZVEI (AMPERE 2.2018)

Díky existenci dvou přenosových frekvencí 3,7...3,8 GHz a 26 GHz pro privátní sítě mohou provozatelé vybudovat nezávislé základní stanice 5G (dle konference ZVEI "Industrie 4.0" z 12. prosince 2018).

Případ použití		Dostupnost	Čas cyklu [ms]	Zatížení [bajty]	Počet zařízení	Pokrytí [m]
Řízení pohybu	Tlak	> 99,9999 %	< 2	20	> 100	100x100x30
	Nástroje	> 99,9999 %	< 0	50	~ 20	15 x 15 x 3
	Balení	> 99,9999 %	< 1	40	~ 50	10 x 5 x 3
Mobilní robot	Kooperace	> 99,9999 %	1	40 - 250	100	1000 x 1000
	Vzdálené video	> 99,9999 %	10 - 100	15 - 15k	100	1000 x 1000
Mobilní panely s bezpečnostní funkcí	Řezání	> 99,9999 %	4 - 8	40 - 250	4	10 x 10
	Mobilní jeřáb	> 99,9999 %	12	40 - 250	2	40 x 60

Tabulka 1: Případy použití v automatizaci Zdroj: ZVEI: 5G

Funkční spolehlivost bude jedním z klíčových aspektů 5G aplikací v průmyslovém prostředí.

Standard TSN

Ačkoliv nejrozšířenější síťovou technologií, Ethernet přenáší datové balíky výhradně na principu "best-effort". Právě standard TSN ale dokáže Ethernet přeměnit na deterministickou síťovou technologii. Nejdůležitějšími vlastnostmi TSN – současnými a budoucími – jsou:

- Synchronizace síťových prvků: koncových bodů, switchů a bran
- Kontrolovaná, kalkulatelná zpoždění (latence)
- Prioritizace datových provozů
- Garantovaná rezervace šířky pásma
- Redundance (kruh)
- Spolehlivost

TSN sestává z mnoha standardů, které byly vyvinuty (nebo jsou vyvíjeny) speciálně pro různé vlastnosti a funkce. Tabulka níže zobrazuje standardy, které byly vyvinuty, nebo jsou vyvíjeny pro potřeby TSN:

Standard TSN	Název	Poznámka
IEEE 802.1Qbv	Scheduled Traffic	Dokončeno 2015
IEEE 802.3br	Interspersing Express Traffic	Dokončeno 2016
IEEE 802.1ASrev	Timing and Synhronisation	Definováno, s výjimkou red. time synchronization
IEEE 802.1Qbu	Frame Preemption	Rozpracováno / závislé na hardwaru
IEEE 802.1Qch	Cyclic Queuing and Forwarding	Definováno
IEEE 802.1Qcr	Asynchronous Traffic Shaping	Definováno
IEEE 802.1QCB	Frame Replication and Elimination	Definováno
IEEE 802.1Qca	Path Control and Reservation	Definováno, rozpracováno v P802.1Q-Rev
IEEE 802.1Qcc	Stream Reservation Protocol (SRP)	Rozpracováno
IEEE 802.1Qci	Per-Stream Filtering and Policing	Rozpracováno

Tabulka Standardy TSN (<http://www.ieee802.org/1/pages/tsn.html>)

Standard TSN se zaměřuje na standardizující funkce vrstvy 2 modelu OSI, aby mohl umožnit různým protokolům využívat stejnou infrastrukturu. TSN je proto plně kompatibilní s konvenčními sítěmi IT a všechny vyšší vrstvy mohou těžit z dostupnosti funkcí TSN (Obrázek 2).

Tou pravou výzvou je zorganizování koexistence stěžejního a nestěžejního provozu v jedné síti tak, aby nedošlo k narušení reálného času a výkonu. Jakmile je toto zajištěno, výroba a sítě IT mohou využívat společnou infrastrukturu.

TSN nebude ustanoven jako obecný standard pro Ethernet s reálným časem. Spíše by na něj mělo být nahlíženo jako na sadu nástrojů, přičemž každá nová funkce rozšíří možnosti nasazení Ethernetu. Na základě toho můžeme předpokládat, že dojde k přidružení mnoha dalších projektů, které jsou zatím stále ještě ve vývoji (viz Tabulku 2).

Existence velkého množství oddělených standardů je vysvětlena faktem, že TSN Task Group se zaměřuje na možnost ponechání jednotlivých samostatných systémů. Můžete je kombinovat, jak si přejete, ale zároveň můžete zavést pouze jeden z nich a docílit tím jednostranného zaměření, které bude ve výsledku jednodušší a levnější.

Mnoho systémů TSN musí být přímo implementováno do hardwaru switchů a mikroprocesorů. Výrobci čipů, jako Broadcom, Intel, Marvell, Texas Instruments, NXP, Renesas a Hilscher, je již zapojeno do vývoje standardů TSN. Výrobci relevantních produktů se spojili do Avnu Alliance (<https://avnu.org/>), aby společně vytvořili ekosystém pro TSN, garantující kompatibilitu hardwaru a aplikací. Tato aliance rovněž certifikuje produkty.

TSN v automatizaci

V automatizačním průmyslu je dnes nasazeno několik, vzájemně nekompatibilních, sběrnic založených na Ethernetu. Coby nový standard pro nižší komunikační vrstvy, TSN odemyká širší možnosti kompatibility a zpřístupňuje implementaci determinismu v ethernetových sítích. Ve spolupráci se standardy OPC UA pro aplikační vrstvu vytváří otevřenou architekturu. OPC UA TSN spojuje svět informačních technologií, stojící na IP, s protokoly vyhovující náročným požadavkům na reálný čas.

S TSN mohou uživatelé odesílat časově citlivá data skrze stejnou síť a za stejných podmínek, jako standardní data, a to až do rychlosti 10 Gb / s.

Na veletrhu SPS IPC Drives 2018 oznámila nadace OPC Foundation mnoho detailů týkajících se provozu OPC UA s TSN: Probíhá rozšíření standardizačních a harmonizačních aktivit pro OPC UA s cílem začlenit ethernetové sítě s TSN do průmyslového pole; podařilo se získat podporu společnosti Siemens. To znamená, že iniciativa Field Level Communications Initiative, vytvořená nadací OPC Foundation, stojí na pevných základech se širokým okruhem podporovatelů.

(Zdroj: DIGITAL FACTORY JOURNAL, 30. 9. 2018)

V souhrnu se k podpoře od 27. 11. 2018 přidalo celkem 22 společností včetně 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, TTTECH, Wago a Yokogawa.

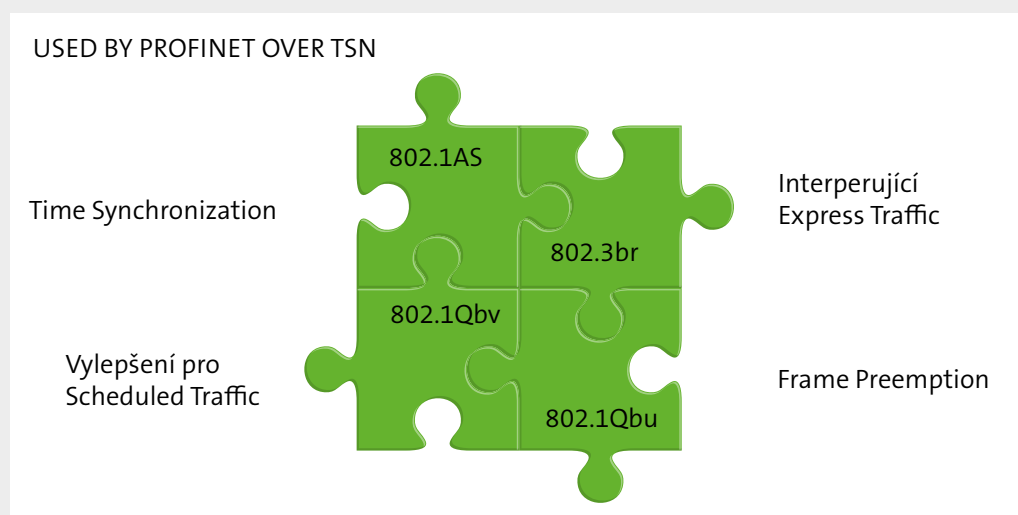
Podívejte se na tiskovou zprávu "Major Automation Industry Players join OPC UA including TSN initiative" od OPC FOUNDATION:

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

Výrobci všech v současnosti rozšířených ethernetových sběrnic tudíž uznávají TSN jakožto společnou přenosovou vrstvu budoucnosti.

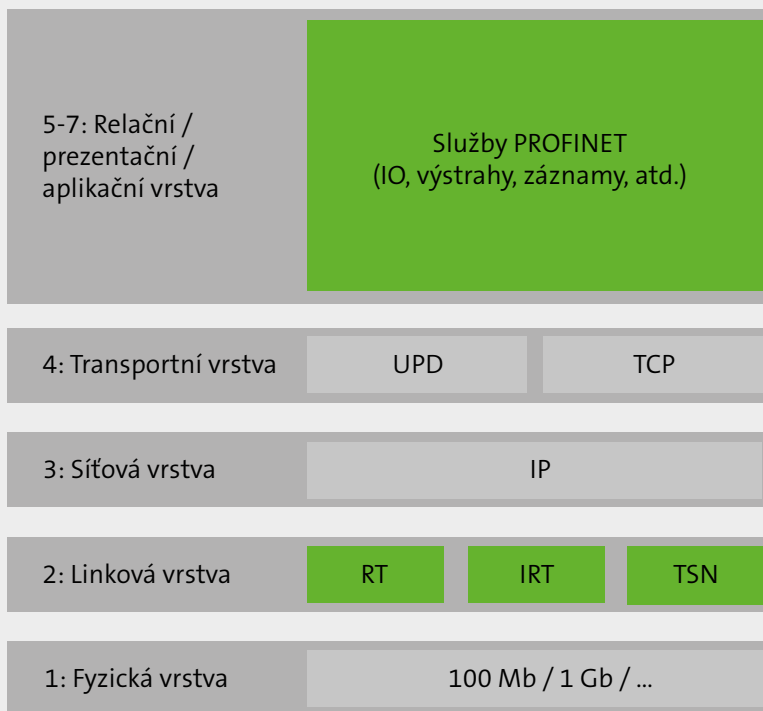
PROFINET přes TSN

Provoz PROFINETu přes TSN vyžaduje následující čtyři dodatky IEEE, z nichž tři již byly dokončeny: IEEE 802.1Qbv, IEEE 802.1br, IEEE 802.1AS-Rev (viz Tabulku 2) a IEEE 802.1Qbu (definice probíhá).



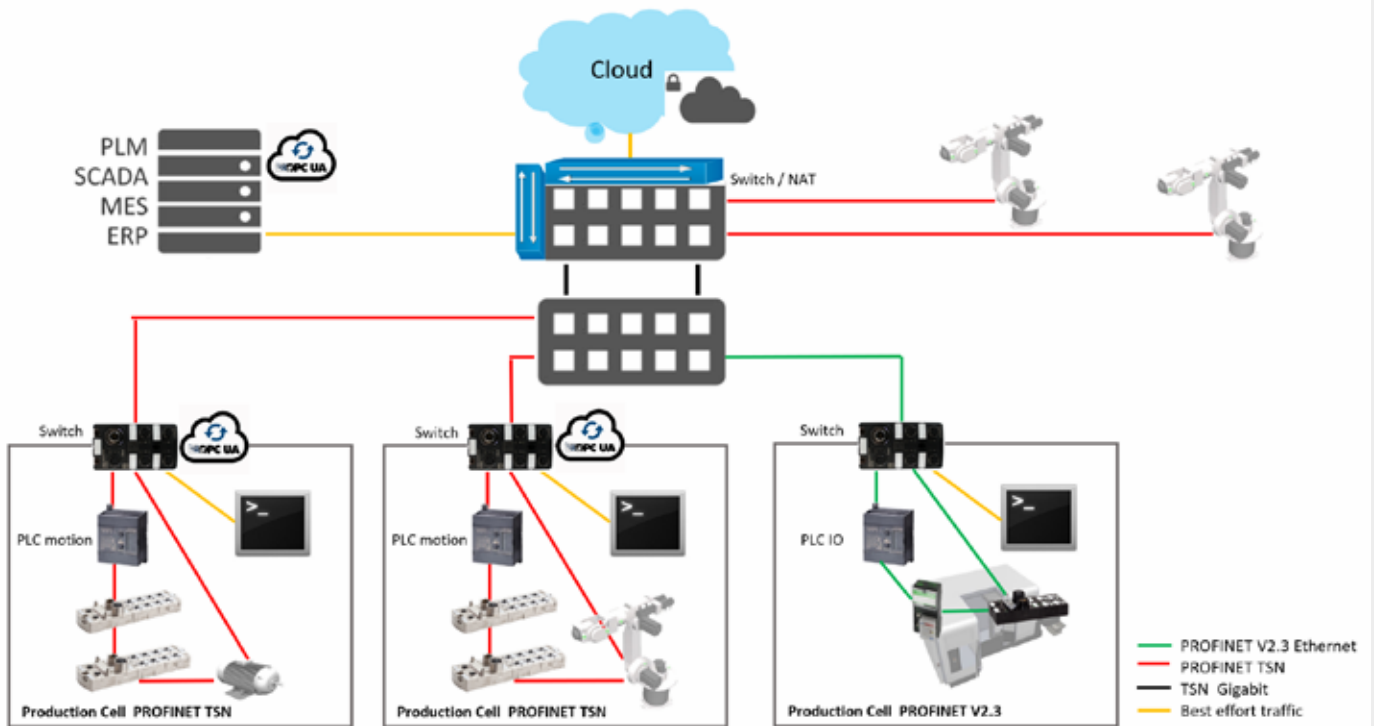
Obr. 4: Použité dodatky IEEE TSN (Zdroj: PI, prosinec 2018)

TSN bude vždy využit jako vrstva 2. PROFINET RT (PN V2.3) může být rovněž integrován do sítě "PROFINET over TSN". PROFINET IRT (PN V2.3) zůstane konzistentní v podobě oddělené vrstvy 2 a nebude kompatibilní s TSN.



Obr. 5: PROFINET & TSN (Zdroj: PI HMI 2018)

Služby a mapování PROFINETu jsou definovány v OPC UA Companion Specification. V roce 2017 vydala PI OPC Working Group hloubkovou analýzu založenou na případech použití za účelem nalezení komplexního řešení. Základními cíli jsou diagnostika asset management, vedoucí ke vzniku přidané hodnoty pro vertikální integraci.



Obr. 6: Příklad TSN hierarchie profinetové automatizace pro Průmysl 4.0



White paper by

Mail

Peter.Lintfert@murrelektronik.de

Web

Produktový manažer Fieldbus, BU Automation**Telefon: +49 (0) 7191 474 254**

O autorovi

Dipl.-Ing. Peter Lintfert absolvoval Ruhr-Universität Bochum v roce 1989 titulem specializujícím se na komunikační technologie a zpracování dat. Strávil 20 let jako systémový inženýr v oblasti přenosu dat a komunikačních technologií

(Ericsson). V roce 2009 přešel do produktového managementu pro průmyslovou automatizaci. Od roku 2012 je produktovým manažerem pro kompaktní sběrníkové moduly v Murrelektronik GmbH v Oppenweileru.

O Murrelektronik

Murrelektronik je mezinárodní rodinná společnost působící v oblasti automatizační techniky s více než 2 700 zaměstnanci. Vizí a posláním společnosti Murrelektronik je optimalizovat instalace strojů a zařízení a vytvářet tak konkurenční výhodu pro své zákazníky. Decentralizace je specialitou společnosti: řídicí vrstva strojů a zařízení je

optimálně napojena na vrstvu senzor-aktor s osvědčenými koncepty a inovativními technologiemi. Úzká spolupráce se zákazníky je nezbytná pro vývoj řešení na míru pro optimální instalaci stroje. Vysoká dostupnost produktů završuje portfolio Murrelektronik a zkušenosti zákazníků.