

# Whitepaper

## Single Pair Ethernet Optimierter Cloud-Zugriff auf Sensoren und Peripheriegeräte

## Zusammenfassung

---

Die Digitalisierung der Industrie ist nach Jahren staatlicher Initiativen, bei denen ihre Vorteile in Proofs-of-Concept belegt und neue Standards entwickelt wurden, in vollem Gange. Die vielfach gewünschte, nahtlose Sensor-to-Cloud-Kommunikation, wie sie etwa für Geschäftsmodelle im Bereich Predictive Maintenance, QA oder Smart Robotics erforderlich ist, scheitert bislang aber noch an Lücken in den Netzwerkinfrastrukturen. Das vorliegende Whitepaper schildert den Status und den Fortschritt von Single-Pair-Ethernet als neue Initiative, um die IP-basierte Netzwerkanbindung jedes Sensors zu ermöglichen.

Im Gegensatz zu der in Industrial-Ethernet-Umgebungen üblichen CAT-5- oder CAT-6-Verkabelung erfolgt die Verbindung der Kommunikationspartner beim Single-Pair-Ethernet (SPE) – wie der Name schon sagt – über lediglich zwei Adern. So lässt sich der Platzbedarf der Stecker vom recht großen RJ45-Stecker auf deutlich kleinere Formate minimieren. Damit wird es auch attraktiver, Sensoranschlüsse über Steckverbinder der Größe M8 anzubinden. Da die Zweidrahtverbindung eine andere Physical-Layer-Spezifikation erfordert, hat die IEEE für die physikalische Verbindung (PHY) von 10Mbit bis zu 10Gbit dedizierte Spezifikationen herausgegeben. Sie übernimmt damit auch die Vorreiterrolle bei der Standardisierung der industriellen Version von SPE, die auf frühere SPE-Initiativen in der Automobilindustrie – genauer: im Bereich Fahrzeugkommunikationssysteme – zurückgeht. Die 10Mbit-Version von SPE unterstützt Kabellängen von bis zu 1 km und ist damit sowohl für die Prozessautomatisierung als auch für hybride Industrien attraktiv, die bestehende Sensornetzwerke auf Ethernet umstellen möchten. Die ersten PHY-Produkte werden voraussichtlich in naher Zukunft auf den Markt kommen, und Hilscher geht davon aus, dass die Technologie 2021 auch in der Prozessindustrie Einzug halten wird. Die Discrete Industries werden erst später, gegen 2024, folgen, da die Ethernet-Infrastruktur (und speziell IO-Link) dort bereits viele Herausforderungen der Digitalisierung gelöst haben. Aus Sicht von Hilscher gibt es keinen Zweifel, dass sich SPE durchsetzen und zusätzliche Marktanteile sichern wird. Die Netzwerkprozessoren der netX-Familie eröffnen die Option, SPE-Infrastrukturen einzuführen, und mithilfe von Gateways zwischen bestehenden Netzwerkinfrastrukturen und den neuen SPE-Umgebungen eine sanfte Migration sicherzustellen.

## Inhalt

Zusammenfassung.....	2
Einführung.....	5
Digitalisierung: Entwicklung und Vorzüge.....	5
Netzwerke in der Industrie.....	7
Migrationspfade in verschiedenen Branchen.....	10
Single-Pair-Ethernet auf einen Blick.....	12
Andere physikalische Ebene.....	12
Langstreckenübertragung.....	13
Intrinsische Sicherheit.....	13
Leistungsversorgung.....	13
Anwendungsspezifische Bandbreitenanforderungen.....	14
IEEE-Standardisierung und mögliche Anwendungen.....	14
Systemeinführung in der Prozessautomatisierung.....	17
Systemeinführung bei der Fabrikautomatisierung.....	18
Marktpotenzial.....	20
Hilscher Lösungen für SPE.....	22
Fazit und Ausblick.....	24
Abkürzungen.....	25
Referenzen.....	26

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Werttreiber und erwartete Vorteile in Schlüsselkategorien der Industriefertigung.....	6
Abb. 2: Betriebsmodell der Open Industry Alliance 4.0.....	7
Abb. 3: Feldbus- und Ethernet-Varianten im OSI-Modell.....	7
Abb. 4: Fokusbereich für Single-Pair-Ethernet-Installationen in der Automatisierung.....	9
Abb. 5: Abfolge der Systemeingführungen in verschiedenen Branchen.....	11
Abb. 6: Vergleich der Physik in klassischen Ethernet- und SPE-Umgebungen.....	13
Abb. 7: PHY-Anbindung an Hostsysteme in höheren Ebenen.....	16
Abb. 8: Systemaufbau: Point-to-Point-Verbindung mit Leistungsverteilung.....	16
Abb. 9: Installationsbeispiel für Ethernet-APL in der Prozessindustrie.....	17
Abb. 10: SPE-Installation im IO-Link-Ökosystem.....	19
Abb. 11: IO-Link-Datenintegration in Ethernet-Hardware und -Datagrammen.....	19
Abb. 12: Kommunikationstechnologie: Anteil vernetzter Geräte in der Produktion.....	20
Abb. 13: Mögliche Einsatzszenarien von TSN in der Fabrikautomatisierung.....	21
Abb. 14: Migrationspfade für SPE in Automatisierungsindustrien.....	21
Abb. 15: Prognose der installierten SPE-Knoten.....	22
Abb. 16: netX-basierte Konfigurationen mit SPE-Anbindung.....	23
Abb. 17: NXEB 90-SPE.....	24

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Entfernung und Übertragungsraten aktueller Feldbus-Technologien in Sensoren und Peripheriegeräten.....	10
Tab. 2: Übersicht über unterschiedliche SPE-Standards.....	14
Tab. 3: Vergleich der beiden Spezifikationen für die physikalische Ebene von SPE.....	15

## Einführung

Nichts rückt die Digitalisierung stärker in den Fokus unseres Alltags als die radikale Disruption unserer Komfortzone, wie sie etwa mit der Covid-19-Pandemie einherging. Werkzeuge und Methoden, die lange nur punktuell im Business-Leben genutzt wurden - etwa Videokonferenzen, Online-Meetings und Schulungen - wurden plötzlich Teil unserer neuen Normalität. Diese schlagartige Steigerung der Nachfrage nach digitalen Lösungen und Dienstleistungen könnte in vielen Bereichen die Wucht einer Revolution bedeuten. In der produzierenden Industrie nahm die Digitalisierung allerdings deutlich langsamer Fahrt auf.

## Digitalisierung: Entwicklung und Vorzüge

Auch wenn man jetzt von der 4. Industriellen Revolution spricht, begann der Übergang in das Zeitalter der Digitalisierung in der produzierenden Industrie schon um das Jahr 2011. Die ersten Initiativen trugen Titel wie „Plattform Industrie 4.0“, „Industrial Internet Consortium“ oder „Made in China 2025“ und dienten zur Vorstellung und Finanzierung von Programmen zur Einbindung digitaler Verfahren und Technologien, die die Gesamtperformance von Produktionsumgebungen verbessern sollten. Viele weltweit tätige Beratungsunternehmen analysierten den Trend und sprachen schon damals von einem „Gamechanger, mit Aussicht auf einen milliardenschweren Markt“ (Accenture, 2015).

Ein „neues industrielles Paradigma“ zeichnete sich ab, mit einem „Bedarf an höherer Intelligenz in Embedded Systems und Wertschöpfung durch intelligente Dienstleistungen“. Als zentrale Erfolgsfaktoren betrachtete man seinerzeit „leistungsstarke Analyselösungen für eine vorausschauende Produktion und für durchgängige Prozesstransparenz“ (Capgemini, 2015). Eine McKinsey-Analyse (ebenfalls aus dem Jahr 2015), die auf 100 Interviews mit Industrieunternehmen basiert, kommt zu einem ähnlichen Schluss: „Disruptive Technologien werden die Digitalisierung des Fertigungssektors ermöglichen“, und erwähnt unter anderem Cloud-Technologien, Advanced Analytics, Touch- und Next-Level-GUIs, Virtual und Augmented Reality, Advanced Robotics und Additive Manufacturing. Basierend auf einer Reihe von Forschungseinrichtungen definierten sie die folgenden Werttreiber (Abb. 1):

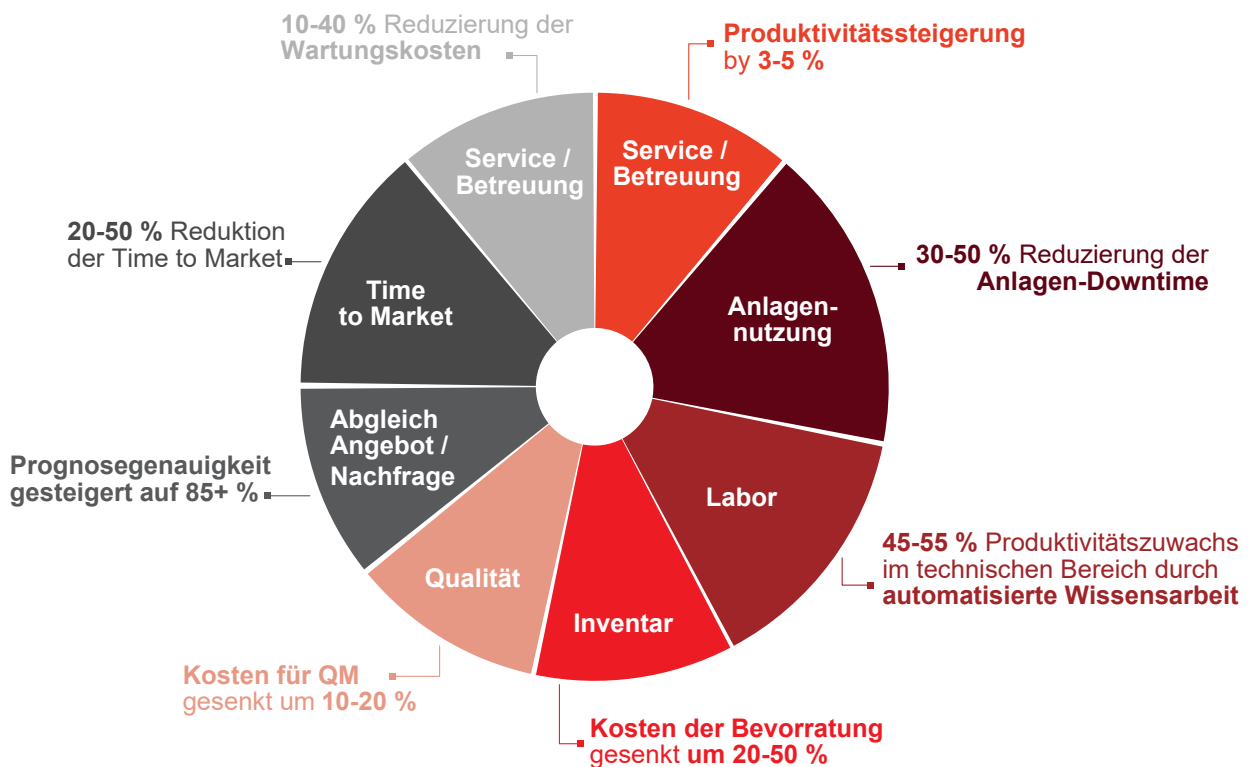


Abb. 1: Werttreiber und erwartete Vorteile in Schlüsselkategorien der Industriefertigung (Quelle: McKinsey 2015)

Die Erwartungen waren also hoch, und das Potenzial schien riesig. Doch trotz unzähliger Proofs-of-Concept, beispielsweise durch das Industrial Internet Consortium, blieb die zentrale Herausforderung zunächst ungelöst: Über welches vertikale Netzwerk sollten die intelligenten Industriesysteme in der Produktionshalle mit den IT-Systemen kommunizieren?

Heute, nach Jahren der Forschung und Suche, teilen wir ein klareres Verständnis davon, mit welchen Anforderungen und Vorteilen die Digitalisierung des Fertigungssektors einhergeht. Technisch gesehen hat sich OPC UA als gängiger Standard etabliert, um die vertikale semantische Kommunikation zwischen der IT- und OT-Welt zu lösen. Auf der Business-Seite treiben aktuell zahlreiche Organisationen branchenübergreifende Initiativen voran, die das Potenzial haben, zumindest in Teilbereichen den 2015 prognostizierten Mehrwert zu bieten. Auch wir bei Hilscher engagieren uns – und treiben in der Open Industry 4.0 Alliance innovative Programme und Geschäftsmodelle voran. Wir unterstützen ein offenes, gemeinsames Ökosystem, um unseren Kunden in Zusammenarbeit mit einem großen Partnernetzwerk mit unseren netFIELD-Produkten und -Services einen hohen Mehrwert zu bieten. Allerdings ist die Anbindung von Cloud-Diensten an die Sensorebene noch eine Herausforderung – und mit Single-Pair-Ethernet zeichnet sich jetzt eine Möglichkeit ab, den Zugang zu lösen.

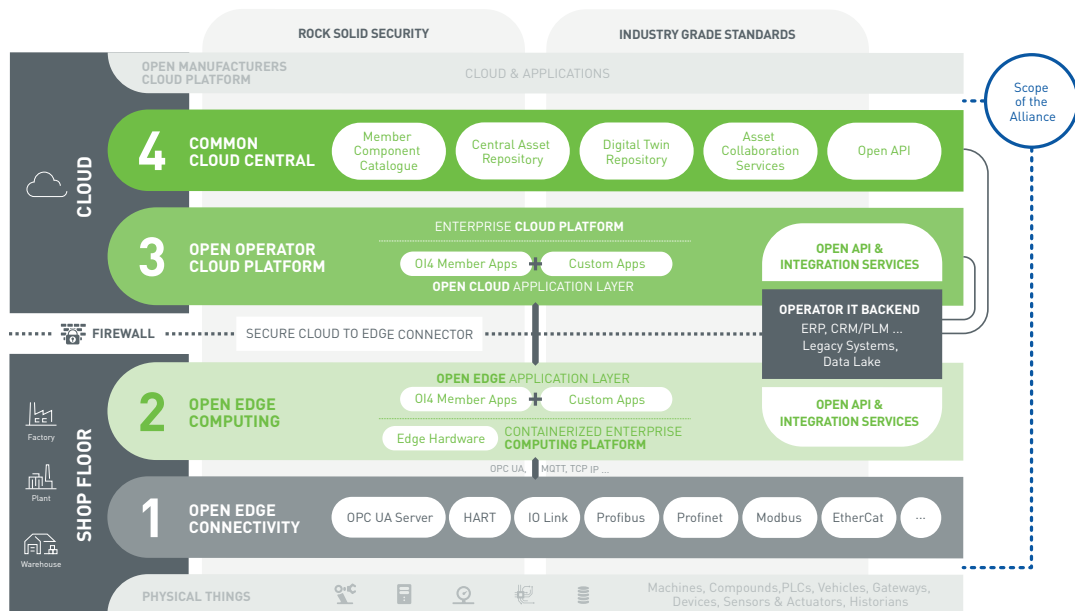


Abb. 2: Betriebsmodell der Open Industry Alliance 4.0 (Quelle: Open Industry 4.0 Alliance 2020)

## Netzwerke in der Industrie

Parallel zu diesen Digitalisierungsinitiativen führte die Industrie ab dem Jahr 2000 über alle Branchen hinweg sukzessive Industrial Ethernet als wichtigsten Kommunikationsstandard ein und löste damit nach und nach Feldbus-Systeme wie PROFIBUS, InterBus, CC-Link, Sercos oder DeviceNet ab. Diverse Varianten von Ethernet wurden standardisiert, um die Nachfrage nach mehr Bandbreite und deterministischer Echtzeitkommunikation zu unterstützen, die gerade in stark automatisierten Industrien wie der Automobil-, der Verpackungs- oder der Lebensmittel- und Getränkeindustrie von entscheidender Bedeutung ist.

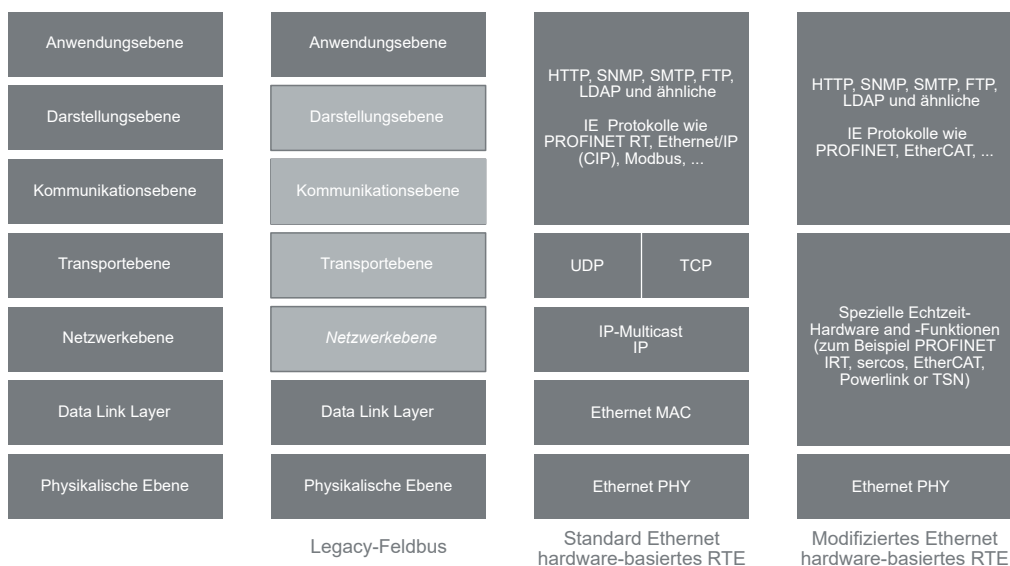


Abb. 3: Feldbus- und Ethernet-Varianten im OSI-Modell

Es gibt eine Reihe unterschiedlicher Ethernet-Standards, die von verschiedenen Automatisierungsunternehmen weiterentwickelt werden, und bei denen die OSI-Schichten auf MAC- und Link-Ebene unterschiedlich angepasst werden müssen, um Echtzeitanforderungen zu unterstützen. Einige Protokolle basieren auf dem klassischen TCP/IP-basierten Ethernet, andere modifizieren die Ebenen 3 und 4 und wieder andere erfordern spezielle Hardware auf dem Data-Link-Layer. Das neueste Real-Time-Ethernet-System Time-Sensitive Networking (TSN), das sich gerade in der finalen Freigabe durch das IEEE befindet, soll die Echtzeitfunktionen auf Layer 1, 2 und 3 für eine gemeinsame Hardwarebasis standardisieren. Alle Ethernet-Varianten sind dabei in der Lage, in Produktionsumgebungen die Office-Netze mit dem Shopfloor zu verbinden, und so die Performance, Transparenz und Verfügbarkeit der Anlage zu verbessern. Die Komplexität von Ethernet und die Netzwerktopologie als Daisy-Chain- oder Switched-Netzwerk erschweren jedoch spürbar die Integration von Peripheriegeräten wie Sensoren und Aktoren. Die Standardisierungsbemühungen für Single-Pair-Ethernet (SPE) sollen diese Lücke schließen und den Weg für eine nahtlose, Ethernet-basierte IP-Netzwerkinfrastruktur bereiten.

Die ersten Bemühungen zur Standardisierung von Ethernet auf der Basis eines einzigen Twisted Pairs stammen aus der Automobilindustrie: Deren In-Car-Netzwerke basierten auf Standards wie CAN, MOST oder FlexRay – waren aber mit Blick auf Verkabelung und Software äußerst kostspielig. Daher einigte man sich, diese sukzessive durch den Ethernet-Standard abzulösen. Allerdings war der Verkabelungsaufwand auch beim Standard-Ethernet noch vergleichsweise hoch. Broadcom hat mit BroadR Reach als erster Anbieter gezeigt, dass ein einfaches Twisted-Pair-Kabel ausreicht, um Hochgeschwindigkeitsdaten über kürzere Strecken zu übertragen. Die IEEE griff die Standardisierungsinitiative unter dem bekannten Ethernet-Standard 802.3 auf und weitete den Anwendungsbereich auf den Industrie- und Gebäudebereich aus, wo es ähnliche Herausforderungen zu adressieren gilt. Die oben genannten Industrie-Feldbusse sowie die im Bereich Gebäudeautomation eingesetzten LON-, BACnet- oder Modbus-Feldbusse stehen heute in der Regel im Fokus, wenn es darum geht, ein nahtloses IP-basiertes Netzwerk zu jedem Sensor aufzubauen.



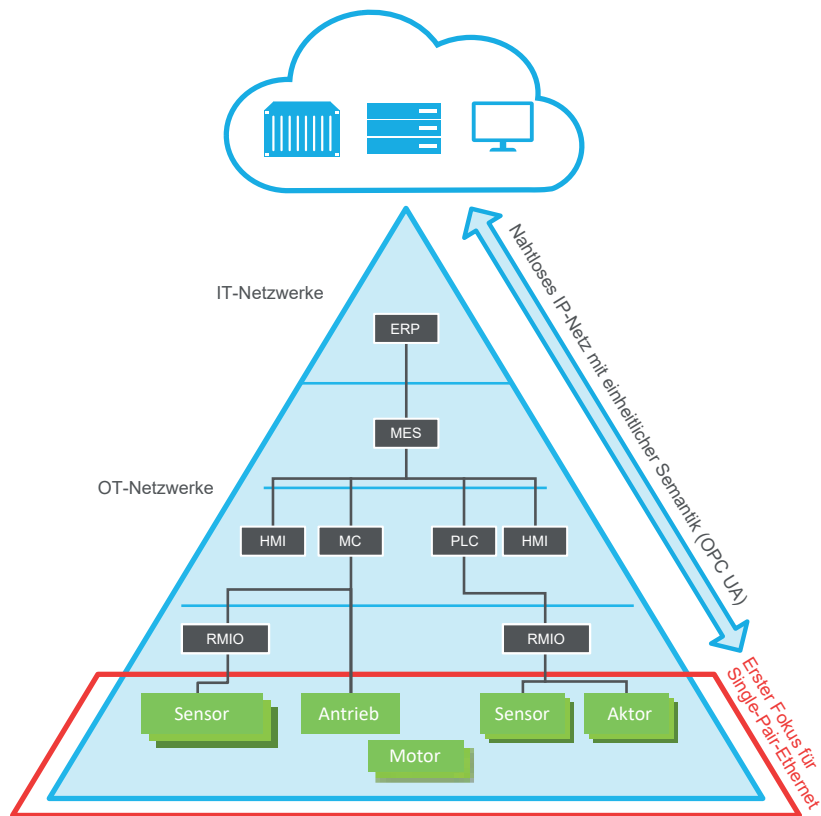


Abb. 4: Fokusbereich für Single-Pair-Ethernet-Installationen in der Automatisierung

Die vertikale Anbindung von Sensoren an die Cloud ist heute das Fundament vieler digitaler Business-Modelle. Dementsprechend ist es für Unternehmen äußerst interessant, ihre bestehenden IP-Netzwerke auch auf die Sensoren auszuweiten:

- Höhere Transparenz, bessere Diagnostik und mehr Kontrolle
- Zugriff auf das gesamte Automatisierungsequipment über eine Semantik (OPC UA)
- Durchgängiges, herstellerneutrales Tooling
- Höhere Resilienz und Verfügbarkeit
- Weichenstellung für Predictive Maintenance und QA

Single-Pair-Ethernet bietet durch die dünnere Verkabelung, den geringeren Platzbedarf bei Steckern und Anschlüssen und den geringeren Raumbedarf einen enormen Mehrwert und kann viele vorhandene Feldbusse im Sensor- und Peripheriebereich ablösen. Offen ist aber noch, wie die Integration in verschiedenen Bereichen der Automatisierung erfolgen wird.

## Migrationspfade in verschiedenen Branchen

Die Vorteile IP-basierter Netzwerke auf Sensorebene liegen auf der Hand. Die Frage ist aber, wie sich SPE in die betroffenen Geräte und Umgebungen integrieren lässt.

Betrachtet man die installierte Basis, gibt es im Feld eine breite Palette von Feldbussen (siehe Abb. 1) und Sensornetzwerken.

Feldbus	Übertragungsrate	Max. Entfernung
Fabrikautomatisierung		
AS-Interface	125kbit	100m
Interbus	500kBd .. 2Mbit	up to 400m
Profibus DP	9,6kBd .. 12 Mbit	100m .. 1200m
CANopen	62,5kBd .. 1 Mbit	30m .. 1000m
Devicenet	125kBd .. 500kBd	100 .. 500m
CompoNet	up to 4Mbit	1500m (@93kBd)
CC-Link	up to 10Mbd	100m
IO-Link	250kBd	20m
Prozessautomatisierung		
Profibus PA	31.25kBd	1900m
HART	1,2kBd	1500 .. 3000m (kabelabhängig)

Tab. 1: Entfernung und Übertragungsrate aktueller Feldbus-Technologien in Sensoren und Peripheriegeräten

Die Tabelle zeigt einen Mix von Feldbussen, die in der Prozess- und Fabrikautomation heute eingesetzt werden. Entsprechend heterogen sind die Anforderungen an die Geschwindigkeit und Distanz – die ihrerseits die Spezifikation definieren, die jede nachfolgende Technologie unterstützen muss. Hinzu kommt in der Prozessautomatisierung der Ex-Bereich mit besonders hohen Sicherheitsanforderungen, und auch die Anbindung an die höheren Netzwerkschichten in Brownfield-Installationen birgt eine Reihe von Gefahren:

- Bedarf an Gateways zwischen Altsystemen und neuen Ethernet-Netzwerken
- mitunter fehlende Diagnose- und Parametriermöglichkeiten
- Übertragungsgeschwindigkeit und Zykluszeit einiger Netzwerke begrenzt Leistung
- erhöhter Wartungs- und Supportaufwand zur Pflege von Legacy-Know-how
- höherer Installationsaufwand durch Multi-Vendor-Konfiguration und -Tooling
- höhere Lagerkosten und fehlende Verfügbarkeit in End-of-Life-Szenarien

In der Praxis gelten diese Nachteile nicht in gleichem Maße für alle Feldbus-Standards, und einige wie IO-Link sind noch in der Anlaufphase. Aber es ist offensichtlich, dass der Handlungsbedarf und der Marktdruck in den verschiedenen Branchen maßgeblich davon abhängt, in welchem Umfang noch alte Technologie verwendet wird.

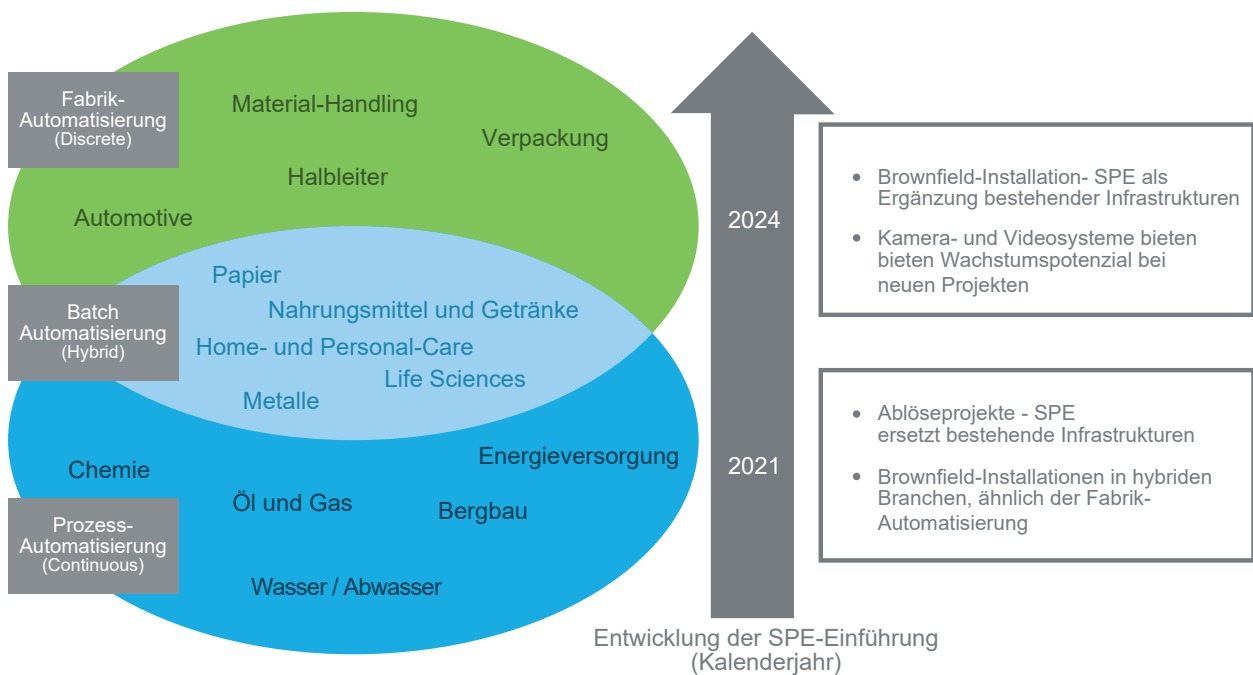


Abb. 5: Abfolge der Systemeinführungen in verschiedenen Branchen

Hilscher erwartet ab 2021 die rasche Einführung und Nutzung von SPE in der Prozessautomatisierung, wo die Umgebungen zum Großteil auf HART, PROFIBUS PA und ähnlichen Feldbussen basieren und nicht im erforderlichen Umfang digitale Geschäftsmodelle unterstützen. Die Namur-Organisation (und speziell die FieldComm Group) treiben gemeinsam

mit der PROFIBUS International (PI) und der ODVA mit Nachdruck den Umstieg auf APL in der Prozessautomatisierungsindustrie voran. Dort stellen Anwendungen in der Regel geringere Anforderungen an Leistung und Zykluszeit, und auch der Einsatz von Diagnose- und Parametrierungstools ist nicht so fortgeschritten wie in der Fabrikautomation. Umgekehrt könnte der Einsatz von SPE in der Fabrikautomation dafür länger dauern. Organisationen wie ODVA oder PI (inkl. der IO-Link-Gruppe) haben Initiativen gestartet, um die Integration von SPE in ihre jeweiligen Standards zu evaluieren und die Positionierung und den Nutzen in ihren Anwendungen zu untersuchen. Parallel dazu arbeiten zwei aktive Gruppen daran, dedizierte Stecker, Steckverbinder und Verkabelungen für die Installation vorzuschlagen. Angesichts all dieser engagierten Initiativen und der offenen Fragen, die sie ansprechen, dürfte ein Feldeinsatz nicht vor 2024 beginnen. Unser Fazit: In einigen Bereichen der Fertigungsindustrie ist das Equipment für die höheren Netzwerkebenen noch weitgehend intransparent, etwa mit Blick auf Status, Diagnose und Parametrierung. Dies beeinträchtigt die Performance und erschwert es, von den Vorteilen der Digitalisierung (Optimierung der Maschinenlaufzeit und Verfügbarkeit, predictive Maintenance usw.) zu profitieren. Daher rechnen wir damit, dass der Handlungsdruck in der Prozessindustrie besonders hoch sein wird, das Thema SPE zu adressieren.

## **Single-Pair-Ethernet auf einen Blick**

Eine naheliegende Frage ist, warum man nicht schon früher auf ein einzelnes Twisted Pair umgestiegen ist. Die Idee scheint einfach und die Vorteile liegen auf der Hand. Allerdings ist der Wechsel von einem herkömmlichen Ethernet-Netzwerk nicht so einfach, wie der Austausch eines Kabels vermuten lässt – und es gilt zahlreiche Anforderungen zu berücksichtigen, um allen betroffenen Branchen die erhofften Vorteile zu bieten.

### **Andere physikalische Ebene**

Das aktuelle Industrial Ethernet 10Base-T/100Base-TX – der meistgenutzte Standard in der Industrie – sendet und empfängt unidirektional über zwei Twisted-Pair-Kabel. Im Gegensatz dazu verwendet ein Single-Pair-Ethernet ein einziges Twisted-Pair-Kabel und erfordert daher eine andere physikalische Ebene sowie andere Kopplungen und Wandler.

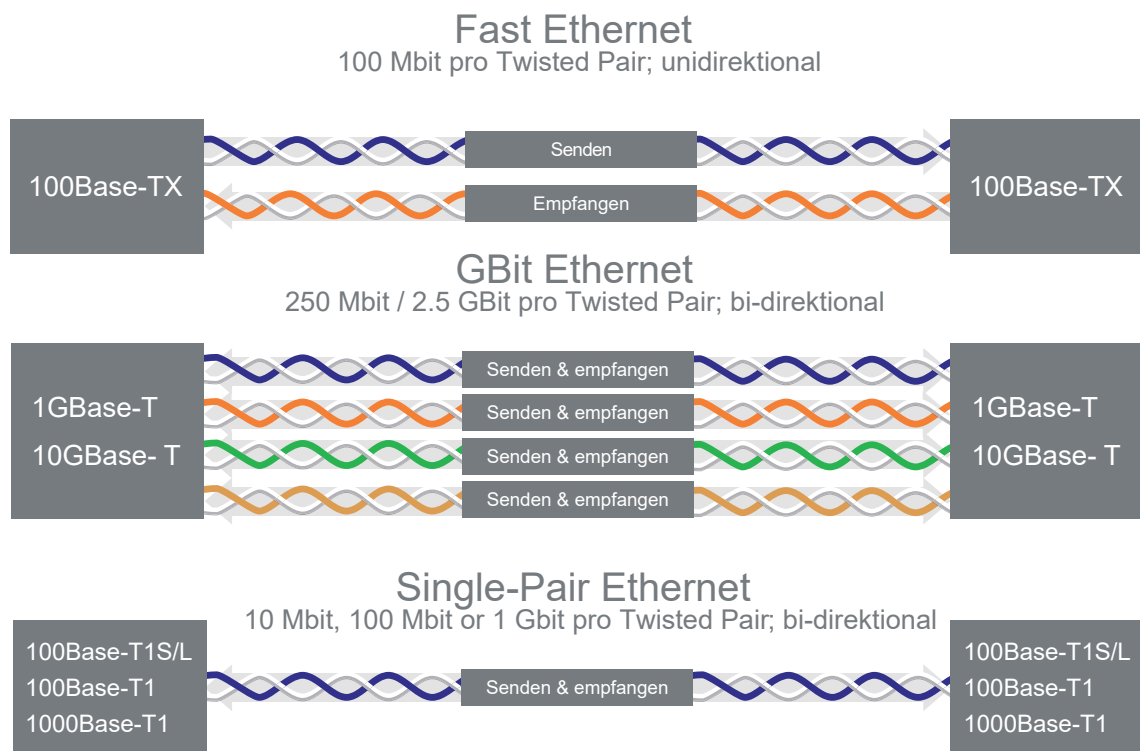


Abb. 6: Vergleich der Physik in klassischen Ethernet- und SPE-Umgebungen (Quelle: HARTING 2019)

## Langstreckenübertragung

Gerade bei der Anbindung gerichteter Sensoren, Aktoren und anderer peripherer Feldgeräte in der Industrieautomation gilt es häufig, längere Distanzen zu überbrücken. Daher wird zunehmend die Forderung laut, die maximale Kabellänge zwischen Stationen von heute maximal 100 Meter (bei 100Base-TX) auf 1.000 Meter zu erhöhen.

## Intrinsische Sicherheit

Ein dritter Aspekt aus der Prozessautomatisierung: Die Übertragung muss intrinsisch sicher erfolgen, um auch für Ex- und andere Hochrisikobereiche geeignet zu sein.

## Leistungsversorgung

Viele aktuelle Sensorkommunikations-Feldbusse unterstützen die Stromversorgung über das Kommunikationskabel. Daher muss die einzelne verdrehte Zweidrahtleitung auch die nötige Leistung für die Stromversorgung abgesetzter Sensoren und Aktoren liefern können.

## Anwendungsspezifische Bandbreitenanforderungen

Der Bandbreitenbedarf vieler Field-Level-Devices und Sensoren lässt sich mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 10 Mbit gut abdecken. Im Raum steht aber auch die Idee, SPE für Anwendungen mit höherer Bandbreite auszurollen. Daher hat das IEEE auch geeignete Standards für Vision, Motion und HMI definiert, einschließlich der physikalischen Schichten.

## IEEE-Standardisierung und mögliche Anwendungen

Diese Anforderungen und Eingaben schlugen sich in mehreren SPE IEEE-Standards mit verschiedenen Übertragungsgeschwindigkeiten nieder, wie in Tabelle 2 dargestellt.

IEEE-Standard	PHY-Standard	Übertragungsrate	Bandbreite	Kabellänge	Applications
IEEE802.3 cg	10Base-T1L	10Mbit	20MHz	1000m (STP)	Sensoren, Aktoren, Peripherie, Maschinensteuerung, Zug- und Bus-Netze, Gebäude-Automation
	10Base-T1S	10Mbit	20MHz	15m (UTP) 25m (STP)	Schrankinstallation (no PoDL), Halbduplex
	APL	10Mbit		1000m (STP)	Intrinsisch sicher und Ex-geschützt
IEEE802.3 bw	(BroadR Reach)	100Mbit	166MHz	15m (UTP) 40m (STP)	Automotive
IEEE802.3 bp		1000Mbit	600MHz	15m (UTP) 40m (STP)	HMI, IPC, Kamera, Motion & Robotik
IEEE802.3 ch		2.5/5/10Gbit	4-5 GHz	15m (STP)	Videosensoren, IPC, HMI, Analytics, Medizinsysteme
IEEE802.3 bu					Power-over-Dataline (PoDL für SPE, max. 60W Leistungsübertragung)

Tab. 2: Übersicht über unterschiedliche SPE-Standards

Tabelle 2 zeigt drei Definitionen für den 10Mbit-SPE-Standard IEEE 802.3cg, die auf die Anforderungen unterschiedlicher Sensor-, Aktor- und Peripherie-Anwendungen zugeschnitten sind. Für Anforderungen in der Sensorik ist die 10Base-T1L am besten geeignet: Sie erlaubt Point-to-Point-Verbindungen mit einer Kabellänge von bis zu 1000 Meter und fügt sich sehr gut in typische Installationen ein.

Mit Blick auf die Definition der physikalischen Schicht entspricht APL exakt der T1L, ergänzt aber fallweise die Komponenten für eine sichere Übertragung in Ex-Umgebungen. 10Base-T1S unterstützt (anders als T1L) einen Multi-Drop-Aufbau mit kürzerer Kabellänge und einer anderen PHY-Schicht namens PLCA (Physical Layer Collision Avoidance). Multi-Drop eignet sich etwa für Schaltschrankinstallationen und andere Kurzstrecken Anwendungen. Jedes System benötigt eine andere physikalische Schicht, wie im Folgenden dargestellt:

	10Base-T1S	10Base-T1L
Transmission speed	12.5MBit	7.5MBit
	half-duplex multi-drop	full duplex
		echo-cancelled
Line-Coding	DME	PAM-3
Signal-Coding	4B5B	4B3T
Voltage	1Vpp	1Vpp (2.4Vpp)

Tab. 3: Vergleich der beiden Spezifikationen für die physikalische Ebene von SPE

Auch wenn sich die physikalische Schicht in vielen Details unterscheidet, ist die Verbindung zu den höheren Schichten stets gleich. Das IEEE hat darauf geachtet sicherzustellen, dass jedes aktuelle System mit MAC- und MII-Verbindung an den neuen PHY angeschlossen werden kann. Die wesentlichen Änderungen spielen sich also alle in einer einzigen OSI-Schicht ab. Das folgende Bild zeigt den Aufbau:

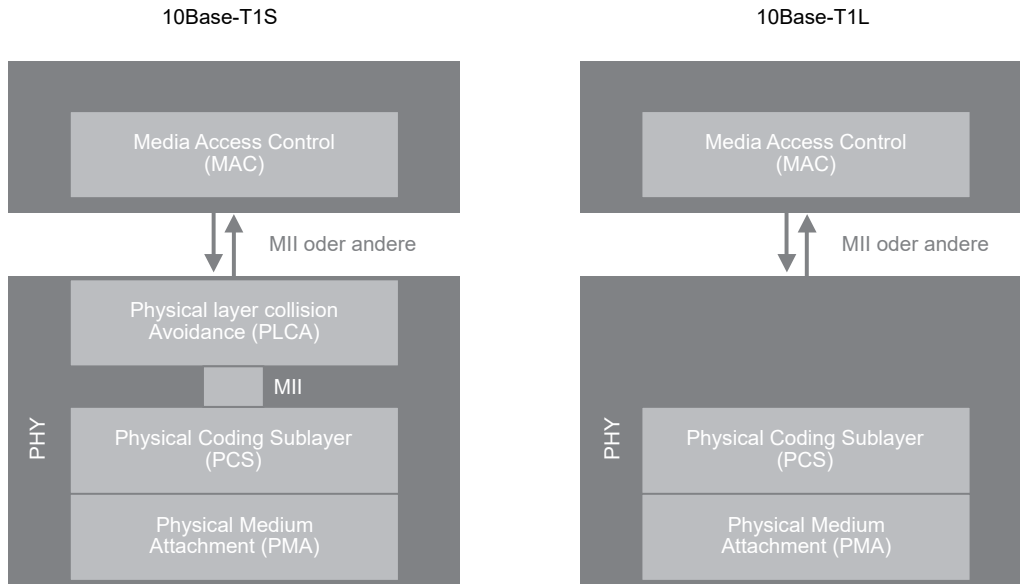


Abb. 7: PHY-Anbindung an Hostsysteme in höheren Ebenen

Darüber hinaus definiert der 802.3bu-Standard eine standardisierte Stromversorgung über die Datenleitung, mit bis zu 50W an jedem Endpunkt. Das Feature ist abwärtskompatibel zu einer Reihe bestehender Standards, die angeschlossene Sensoren ebenfalls über einen zentralen Power Controller versorgen. Der Aufbau mit SPE sieht folgendermaßen aus:

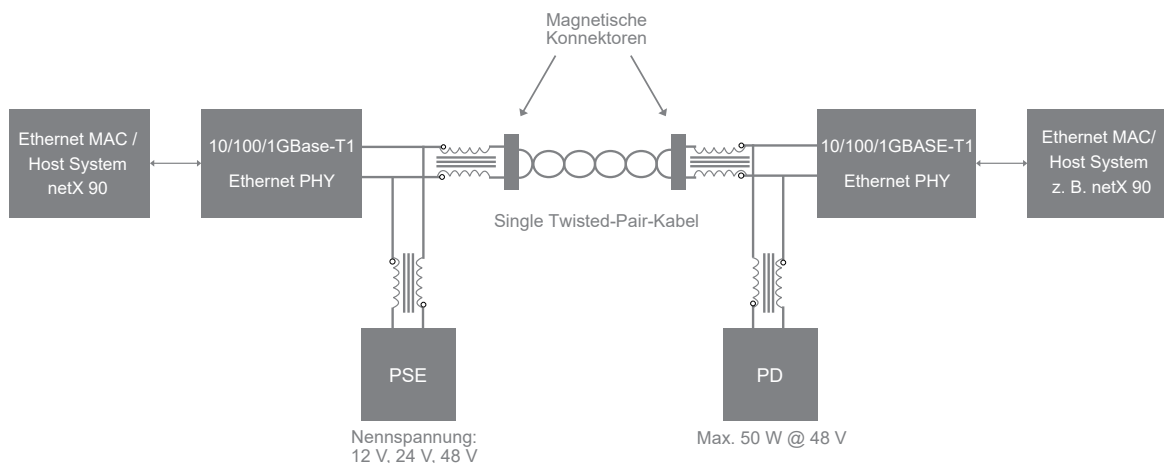


Abb. 8: Systemaufbau: Point-to-Point-Verbindung mit Leistungsverteilung

Um Energie über das Kabel bereitzustellen, ist Power Sourcing Equipment (PSE) erforderlich. Dabei wurden drei Spannungen definiert, die jeweils einer bestimmten Leistung zugewiesen sind. Auf der Empfängerseite, dem Powered Device (PD), können maximal 50W bei 48V in einer Point-to-Point-Verbindung über T1L geliefert werden. Bei 24V sind es mit einem geregelten PSE noch bis zu 10W. Das System ist weitgehend zur Trunk- und Spur-Topologie vieler Prozessautomatisierungsnetze kompatibel.



Die Standardisierung von Single-Pair-Ethernet ist in ihrer jetzigen Form gut geeignet, um die Anforderungen der industriellen Automatisierung abzubilden. Da die eingesetzte Physical-Layer-Technologie bereits in vergleichbaren Szenarien in der Automobilindustrie im Einsatz ist, können Anwender in der Industrie bei ihren Projekten auf eine praxiserprobte Technologie zugreifen. Bis zur Einbettung von SPE in die aktuellen Ethernet-Standards ist es aber – gerade im Umfeld der Fabrikautomation – noch ein weiter Weg. Aus Sicht der Systeminstallation schafft die IP-Anbindung jedes Sensors die Voraussetzungen, um Sensoren im Feld über ein herstellerunabhängiges Tool-Set zu konfigurieren und zu warten.

## Systemeinführung in der Prozessautomatisierung

Während die Netzwerke in der Fabrikautomation bereits weitgehend auf den Ethernet-Standard umgestellt wurden, ist die Einführung im Bereich Prozessautomatisierung noch im Gange. Um die Weichen für eine erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0- und IIoT-Modellen zu stellen, hat die Namur daher eine offene Architektur (NOA) vorgestellt, die ein Kommunikationskonzept für alle Ebenen bis zur Cloud definiert. Überdies hat Namur in einem Bericht gefordert, dass Prozessautomatisierungsnetze künftig als IP-basierte Ethernet-Netzwerke aufzusetzen sind. Die FieldComm Group treibt parallel gemeinsam mit PI und ODVA die Weiterentwicklung innerhalb des IEEE voran und hat bereits ihre Systemanforderungen für die schnelle Einführung der Lösungen im Feld festgelegt.

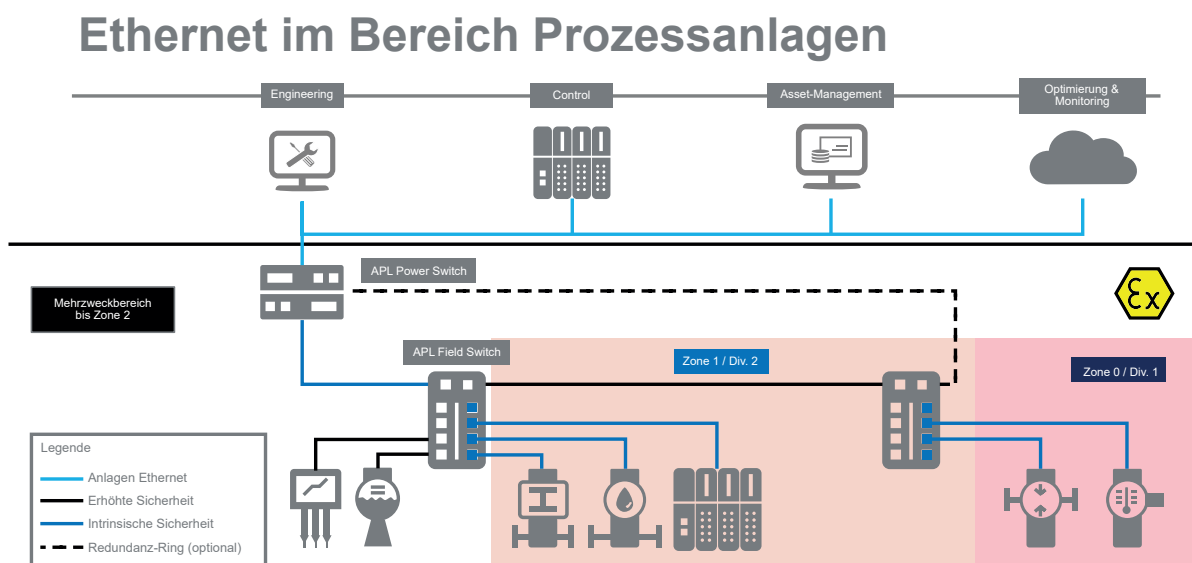


Abb. 9: Installationsbeispiel für Ethernet-APL in der Prozessindustrie (Quelle: FieldComm Group, 2019)

Die Abbildung zeigt verschiedene Zonen einer Prozessanlage, mit denen sich abgestufte Level intrinsischer Sicherheit realisieren sowie schleifen- oder separat gespeiste Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen (etwa Zone 0) anbinden lassen. Das Netzwerk verwendet eine klassische Spur- und Trunk-Topologie, in der sich bis zu 50 Geräte mit jeweils bis zu 500 mA versorgen lassen. Vorhandene Kabel und Installationen können dabei wiederverwendet werden, um den Aufwand für das Systemdesign und die Integrationszeit zu minimieren. Mit Blick auf diese Vorteile setzt die Prozessindustrie zunehmend darauf, bestehende Feldbus-Umgebungen in APL zu überführen.

## Systemeinführung bei der Fabrikautomatisierung

Anders als in der Prozessindustrie ist das Industrial Ethernet in der Fabrikautomation bereits der dominante Netzwerktyp. Dies bedeutet aber auch, dass von den vielen Nutzenargumenten, über die wir im Zusammenhang mit SPE sprachen, nur ein Teil relevant ist: der kleinere Platzbedarf, das geringere Kabelgewicht, die größere Kabellänge, die höhere Robustheit sowie die einfache Installation und Wartung durch die einheitliche Tooling-Umgebung.

Doch wie lassen sich diese Vorteile in IP-Netzwerken ausspielen, die bereits datengesteuerte Geschäftsmodelle unterstützen? Die Herausforderungen sind vielfältig: Manche Industrial-Ethernet-Standards unterstützen etwa keine 10Mbit-Übertragung, oder sie haben erst mit deren Integration begonnen. Und: Einige Sensorhersteller, die zu den wichtigsten Treibern von APL in der Prozessautomatisierung gehören, stimmen ihre Anforderungen seit 2007 aktiv im IO-Link-Standard ab. IO-Link unterstützt daher bereits Parametrierung, Diagnose und die Integration in Industrie 4.0-Ökosysteme. Allerdings würde der Transport von IO-Link-Frames über 1000 m SPE das bisherige Point-to-Point-Sensornetzwerk in eine Art Feldbus überführen. Eine klärende Diskussion tut Not. Zudem bleibt eine Schlüsselfrage offen: Welche Use Cases in der Fabrikautomation profitieren von SPE? Aktuell werden Anwendungsfälle und Integrationsoptionen im Feld von verschiedenen Gruppierungen bei PI, ODVA und IO-Link diskutiert und bewertet. Das IO-Link-Konsortium hat hierzu bereits ein Whitepaper mit Beispielen für Einsatzszenarien herausgegeben (IO-Link-Konsortium, 2020):

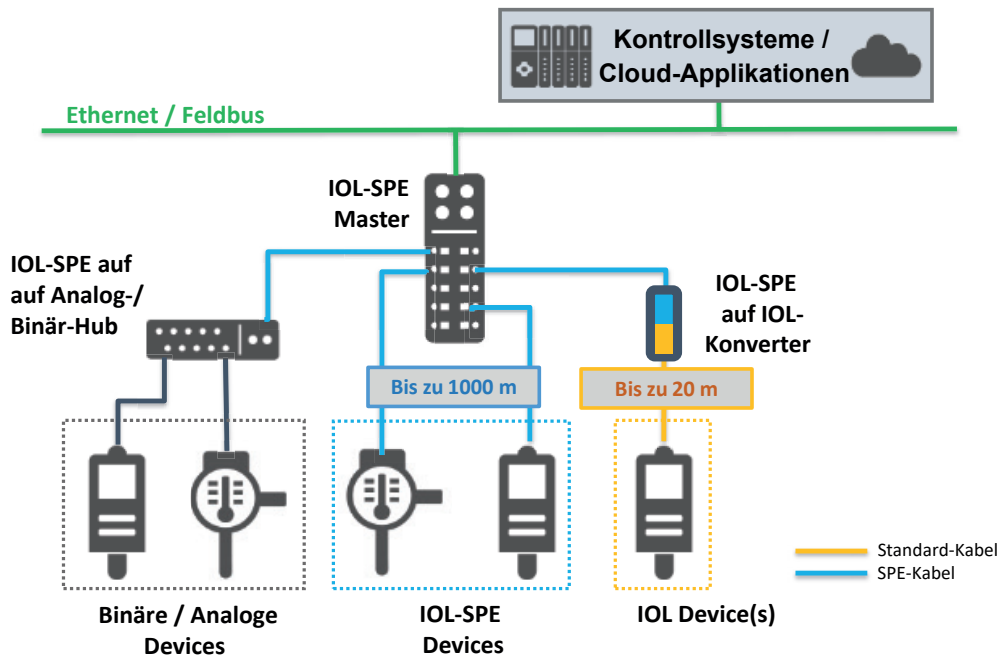


Abb. 10: SPE-Installation im IO-Link-Ökosystem (Quelle: IO-Link Consortium 2020)

Das obige Beispiel illustriert die Integration eines IP67-SPE-Masters in eine bestehende IO-Link-Umgebung mit binären Sensoren und Geräten. Bei dem im Whitepaper diskutierten Use Case dient SPE vorrangig als Transportmedium für IO-Link-Frames.

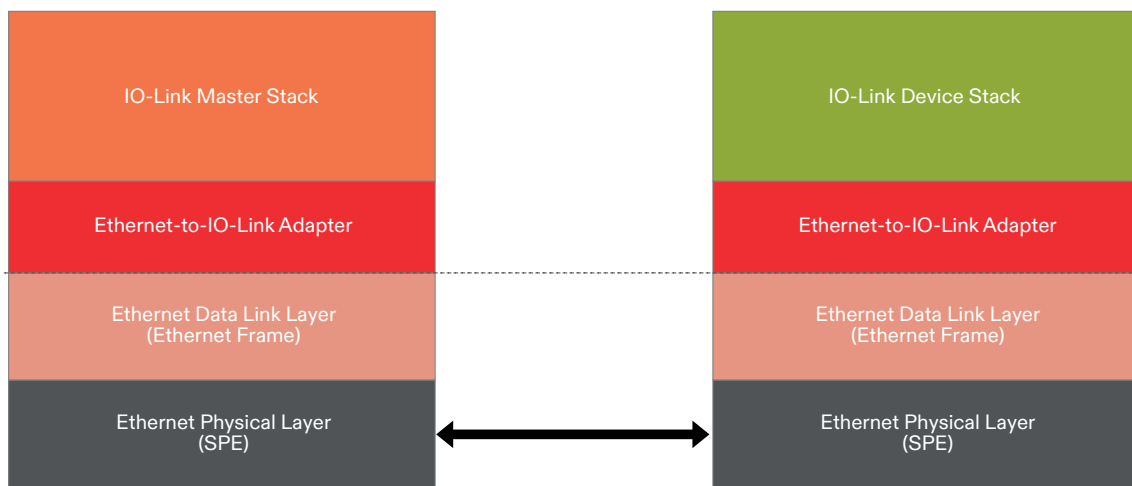


Abb. 11: IO-Link-Datenintegration in Ethernet-Hardware u. Datagrammen (Quelle: IO-Link Cons., 2020)

Ein Software-basierter Ethernet-to-IO-Link-Adapter ermöglicht es, die bestehende Infrastruktur und Umgebung weiter zu nutzen. So können Anwender ihre gewohnten Datenformate beibehalten, die Reichweite erhöhen und von den weiteren Vorteilen von SPE profitieren.

Hilscher engagiert sich in mehreren PI-Arbeitsgruppen und trägt dort zur Diskussion über SPE für PROFINET bei. Wir sind überdies in der IO-Link Arbeitsgruppe aktiv und helfen bei der Evaluierung der Vorteile und der Herausforderungen einer komplementären Integration beider Standards im Feld. Im IEEE beteiligen wir uns an den Diskussionen zum 802.3cg-Standard und nehmen an den Gesprächen der ODVA zu SPE teil. Unser Ziel ist es, zur Entwicklung eines effizienten Migrationspfads für die Integration von SPE in bestehende Systeme beizutragen – mit unserer Kommunikationskompetenz und mit unseren Produkten.

## Marktpotenzial

Auf die Branche wartet noch viel Arbeit: Die Liste der offenen Fragen reicht von der Einführung der Systeme über die Integration der neuen Standards bis hin zum Ausloten der Vorteile in konkreten Use Cases. Zu Beginn der SPE-Standardisierung bescheinigten die teilnehmenden Unternehmen der Technologie enorme Potenziale, die mitunter an die hochgesteckten Erwartungen in der Frühphase von Industrie 4.0 und IIoT erinnerten. Heute bewertet die Branche die Möglichkeiten und den Umsetzungsaufwand realistischer, wie Abb. 5 illustriert. Hilscher hat im Feld Analysen durchgeführt, um die mögliche Anzahl

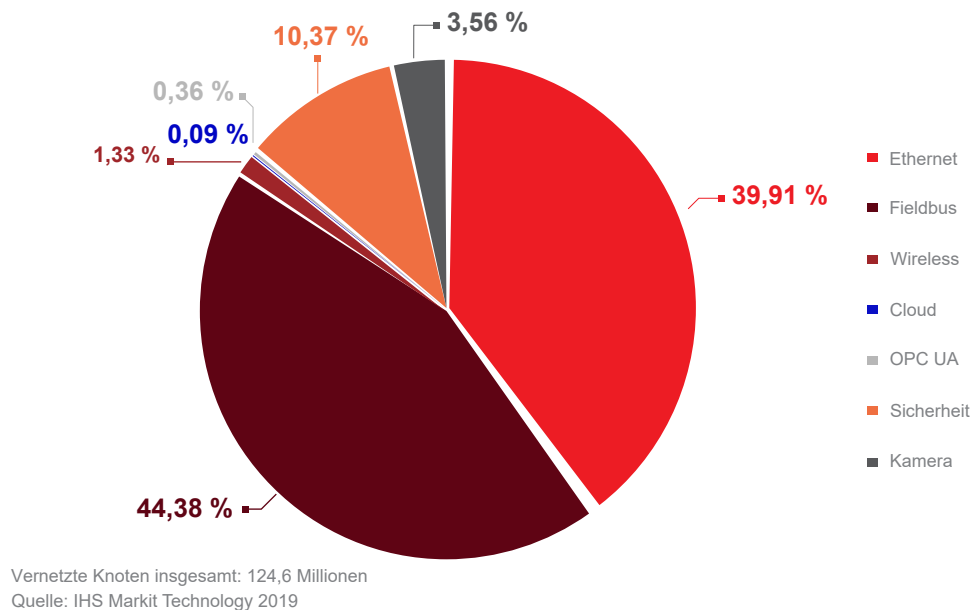


Abb. 12: Kommunikationstechnologie: Anteil vernetzter Geräte in der Produktion

(Source: IHS Markit Technology 2019)

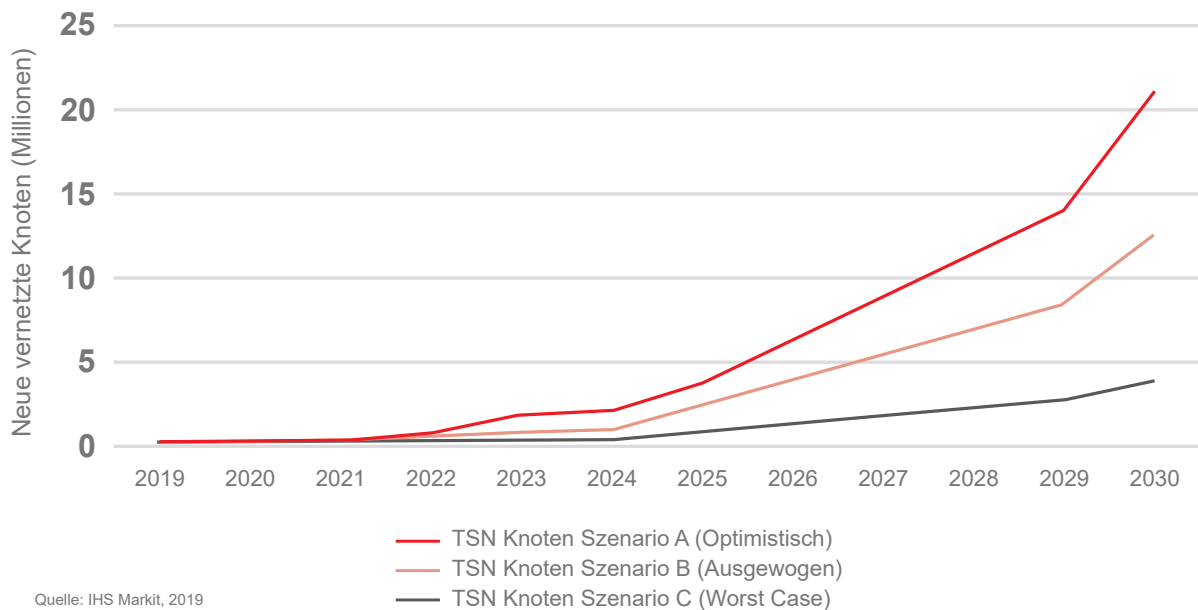


Abb. 13: Szenarien für den Einsatz von TSN in der Fabrikautomatisierung (Quelle: IHS Markit, 2019)

installierter SPE-Knoten auf der Basis der Einführungsraten früherer Feldbus-, TSN- und Ethernet-Netzwerkprojekte zu schätzen. Wie dargestellt, weichen die Integrationsraten und der Beginn der SPE-Einführung von Branche zu Branche ab. Daher gehen wir von einem Migrationsszenario wie in Abb. 14 aus:

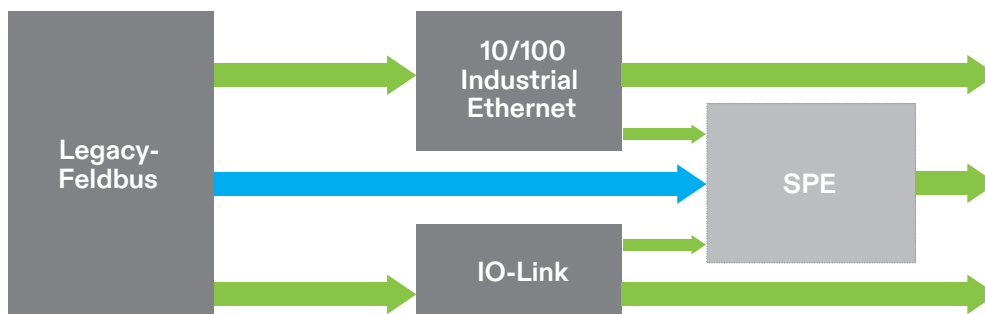


Abb. 14: Migrationspfade für SPE in Automatisierungsindustrien

Das SPE-Volumen hängt vor allem davon ab, in welchem Umfang bestehende Feldbus-Technologien in der Prozessindustrie auf SPE (APL) überführt werden, da sich hier die größten Potenziale heben lassen. Wir erwarten zunächst eine kleine Kannibalisierung, wenn die installierten Knoten von Industrial-Ethernet-10/100-Eco-Systemen auf SPE überführt werden. Hinzu kommt, dass sich auch IO-Link noch in der Ramp-up-Phase befindet. Die Investitionen in IO-Link-Geräte und -Installationen müssen sich also erst amortisieren, bevor eine größere installierte Basis auf SPE überführt wird. Daher prognostiziert Hilscher folgende Entwicklung bei den jährlich installierten SPE-Knoten:

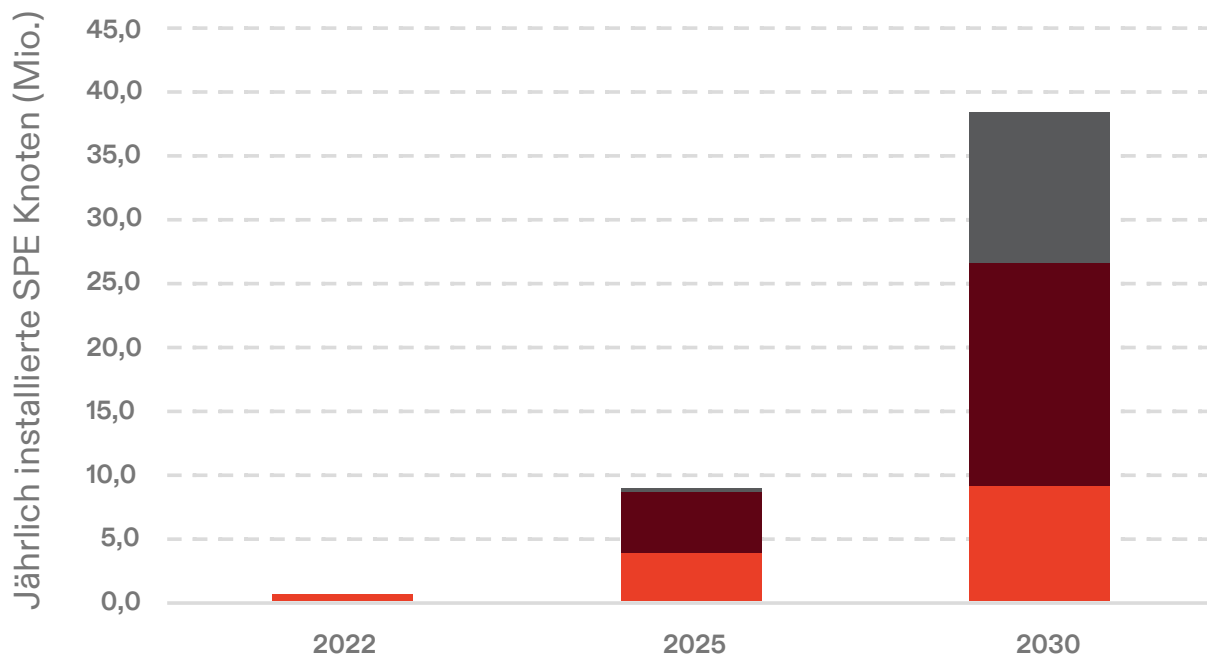


Abb. 15: Prognose der installierten SPE-Knoten  
 (Quelle: Hilscher, basierend auf IHS, PI, ODVA, FieldComm, ASi, ARC Advisory, HMS 2020)

Als erstes überführt werden in der Prozessautomatisierung diejenigen Anwendungen und Geräte, die heutige Feldbusse auf APL übertragen. Daher gehen wir davon aus, dass 2022 die ersten installierten Knoten im Feld auftauchen werden. Anschließend erwartet Hilscher einen recht schnellen Übergang von alten Feldbus-Technologien zu SPE sowie einen moderaten Ausbau der bestehenden Ethernet-Infrastrukturen in der Fabrikautomation. Mit Blick auf die voranschreitende Digitalisierung der Prozessautomatisierung erwarten wir zudem über alle Branchen hinweg eine Zunahme konvergenter Geräte und Protokolle. Darüber hinaus rechnen wir damit, dass die Zahl webfähiger Geräte im Feld ebenfalls deutlich steigen und damit zu den nachhaltigen Zuwachsraten beitragen wird.

### Hilscher Lösungen für SPE

Hilscher adressiert den SPE-Markt mit der netX-Produktfamilie. Diese soll künftig um frei verfügbare PHY-Produkte sowie um neue Produktfamilien von Hilscher erweitert werden, um eine schnelle und einfache SPE-Einführung im wichtigen Markt für Netzwerkautomatisierung sicherzustellen.

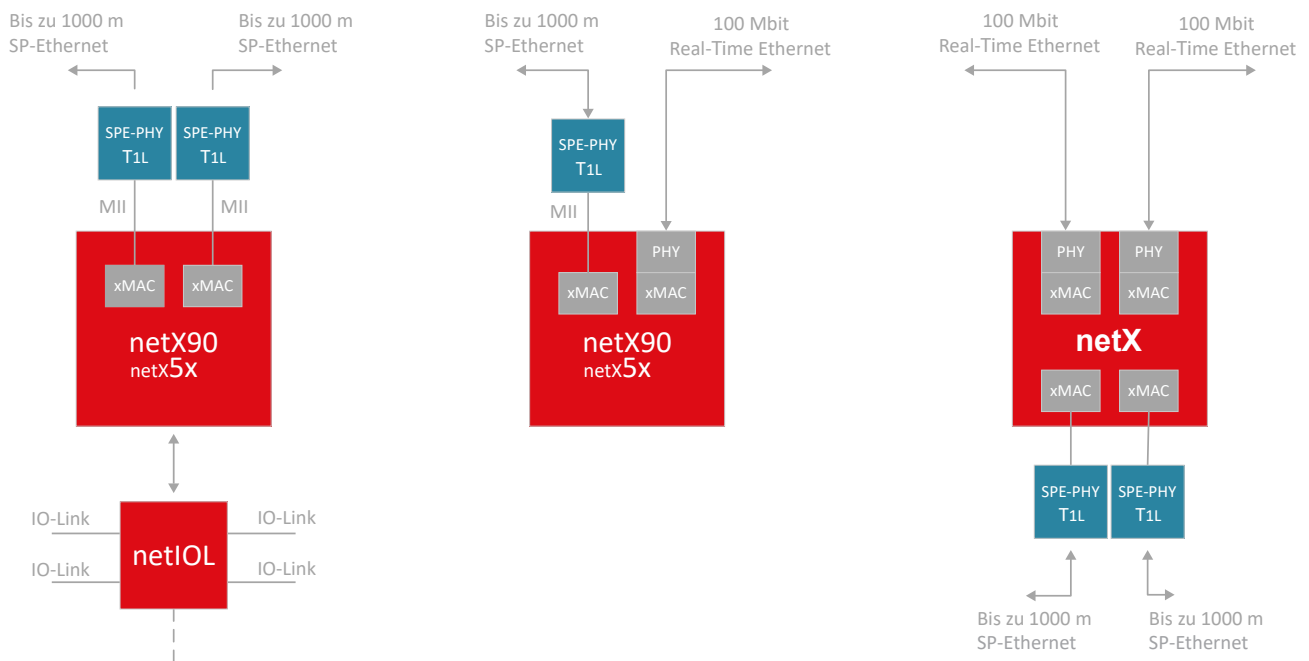


Abb. 16: netX-basierte Konfigurationen mit SPE-Anbindung

Unsere aktuelle netX 90-Produktfamilie ermöglicht über die MII-Schnittstelle die Anbindung externer PHY-Produkte. Über die internen xMAC-Prozessoren lässt sich protokollspezifisch zwischen den beiden Kanälen umschalten. In dem Use Case auf der linken Seite von Abb. 16 stehen so zwei 10Mbit-Kanäle mit SPE-Port mit bis zu 1.000 Meter Leitungslänge zur Verfügung. Diese können zum Beispiel über unseren 4-kanaligen netIOL Master-Chip für Legacy-Umgebungen an ein IO-Link-Sensornetzwerk angeschlossen werden.

Die mittlere Konstellation zeigt, wie sich ein bestehendes Real-Time-Ethernet (RTE)-System mit 100Mbit mit einem 10Mbit-SPE verbinden lässt. Dabei steuert ein interner PHY mit einem xMAC die 100Mbit-Seite; der zweite xMAC mit externem SPE-PHY verbindet sich mit dem bis zu 1000 Meter langen SPE-Netzwerk. Auf der rechten Seite dient der netX als Switch zwischen einem 100Mbit-basierten RTE und einem 10Mbit-SPE-Netzwerk.

Hilscher hat zu Evaluierungszwecken auch ein erstes Board mit netX90 und 10Mbit-SPE-T1L PHYs für Entwickler designt, wie in Abbildung 17 zu sehen:

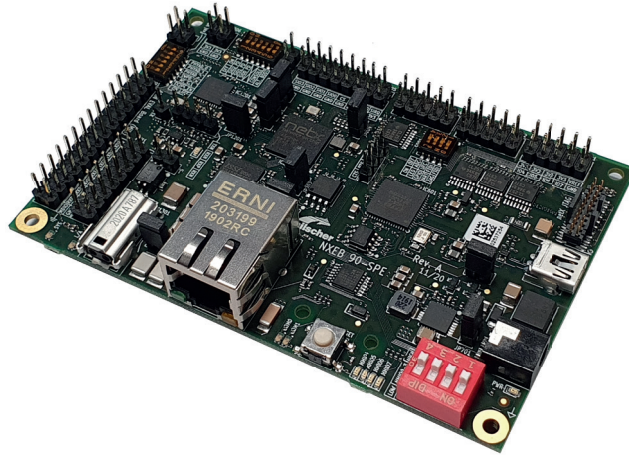


Abb. 17: NXEB90 - SPE

Die Karte ermöglicht die einfache Erweiterung eines 100Mbit-Netzwerks um 2ch SPE, um das SPE-Netzwerk im Hinblick auf unterschiedliche Industrial Ethernet Standards evaluieren zu können. Da die Standardisierungsgremien noch daran arbeiten, SPE in ihren jeweiligen Releases zu definieren, haben wir in den obigen Diagrammen einige Möglichkeiten und Optionen zur Umsetzung von Brownfield-Installationen auf netX-Basis skizziert. Sobald die SPE-Definitionen weiterentwickelt werden, werden auch wir weitere Optionen bereitstellen.

## Fazit und Ausblick

Die Definition von Single-Pair-Ethernet hat einen Punkt erreicht, an dem die Industrie mit der Einführung der Systeme beginnen kann. Ziel ist die nahtlose Anbindung an Ethernet-basierte IP-Netzwerke – von den Sensoren bis zur Cloud. Die konkreten Vorzüge hängen dabei maßgeblich vom Reifegrad der Digitalisierung ab. Daher sind auch die Nachfrage und das Migrationstempo sehr unterschiedlich. Grundsätzlich gilt aber: Mit den robusten und kleineren Kabeln und Steckern, der relativ hohen Übertragungsrate, den Distanzen von bis zu 1000 Meter, der Multi-Drop-Option und der Möglichkeit eines herstellerunabhängigen Toolings ist SPE eine hervorragende Lösung für Sensor und Peripherie.

Hilscher ist eines der führenden Unternehmen in der Open Industry 4.0 Alliance, die Industriepartner unter einem gemeinsamen Rahmenwerk zusammenführt, um Sensor-to-Cloud-Ökosysteme und -Infrastrukturen zu fördern. Hilscher unterstützt Kunden im SPE-Umfeld mit der innovativen netX Produktfamilie – und in Zukunft auch mit Standardprodukten aus unserem breiten Modul-, PC-Karten- und Gateway-Portfolio.



## Abkürzungen

APL - Advanced Physical Layer

CAN - Controller Area Network

HMI - Human Machine Interface

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

IIoT - Industrial Internet of Things

LON - Local Operating Network

MAC - Media Access Control

MOST - Media Oriented Systems Transport

NOA - Namur Open Architecture

ODVA - Open DeviceNet Vendor Association

OSI - Open Systems Interconnection

PD - Powered Device

PHY - Physical Layer

PI - PROFIBUS International

PLCA - Physical Layer Collision Avoidance

PSE - Power-Sourcing Equipment

SPE - Single-pair Ethernet

TCP/IP - Transmission Control Protocol/Internet Protocol

TSN - Time-Sensitive Networking

## Referenzen

Accenture (2015), Purdy, Davarzani, “The Growth Game-Changer: How the Industrial Internet of Things can drive progress and prosperity”

CapGemini (2015), Bechtold, Kern, Lauenstein, Bernhofer, “Industry 4.0 - The Capgemini Consulting View - Sharpening the Picture beyond the Hype”

Deloitte (2014), Schlaepfer, Koch “Industry 4.0 - Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies”

McKinsey (2015), Industry 4.0 How to navigate digitization of the manufacturing sector

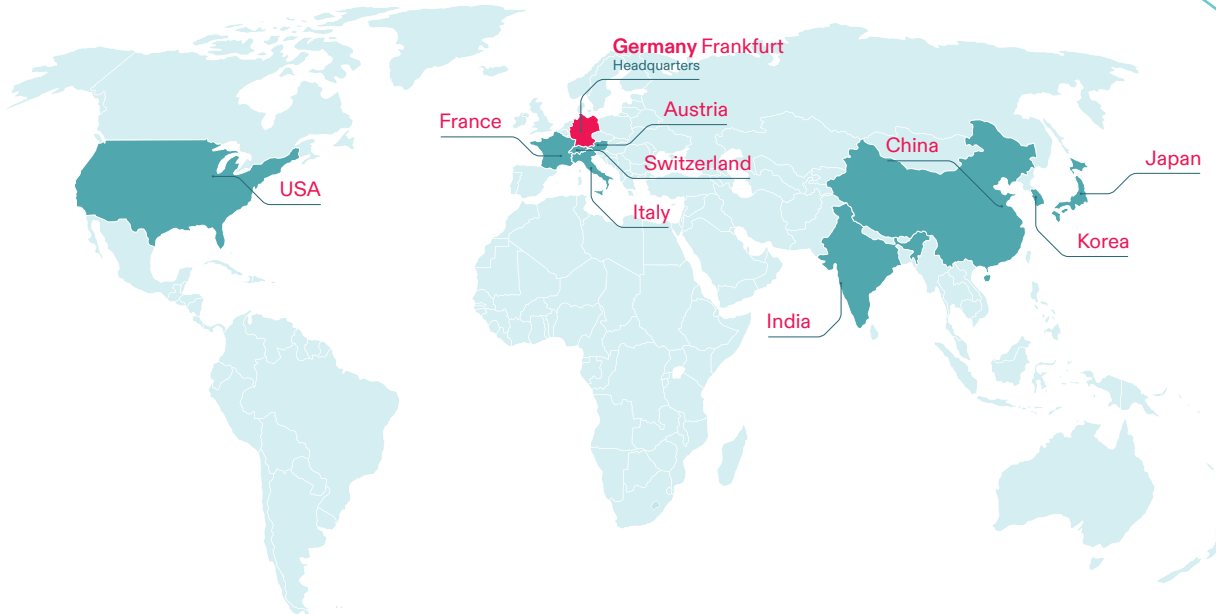
IO-Link Consortium (2020), Gringauz, Moritz, Lindenthal, Witte, „Concept study Extension of IO-Link for Single Pair Ethernet transmission” (Whitepaper), taken from <https://io-link.com/de/Download/Download.php?thisID=8>

FieldComm Group (2018), Presentation at Singapore meeting, taken from [https://fieldcommgroup.org/sites/default/files/global/Singapore/5%20FCG-181012\\_APLinAnutshell\\_lv0.5pptx.pdf](https://fieldcommgroup.org/sites/default/files/global/Singapore/5%20FCG-181012_APLinAnutshell_lv0.5pptx.pdf)

IHS Markit (2020), S.Ali, “Industrial connectivity in the era of TSN, APL and 5G” taken from <https://technology.informa.com/620165/industrial-connectivity-in-the-era-of-tsn-apl-and-5g>



## Sie möchten mehr erfahren? Melden Sie sich bei uns!



### Kontakt

Hauptsitz

Geschäftstellen

#### Deutschland

Hilscher Gesellschaft für  
Systemautomation mbH  
Rheinstraße 15  
65795 Hattersheim

Phone: +49 (0) 6190 9907-0

E-Mail: [de.info@hilscher.com](mailto:de.info@hilscher.com)

#### Sales

Phone: +49 (6190) 99 07-90

E-Mail: [de.sales@hilscher.com](mailto:de.sales@hilscher.com)

Copyright Hilscher 2023

#### China

Hilscher Systemautomation  
(Shanghai) Co. Ltd.  
Phone: +86 (0) 21 6355 5161  
E-Mail: [cn.info@hilscher.com](mailto:cn.info@hilscher.com)

#### Frankreich

Hilscher France S.a.r.l.  
Phone: +33 (0) 4 72 37 98 40  
E-Mail: [fr.info@hilscher.com](mailto:fr.info@hilscher.com)

#### Indien

Hilscher India Pvt. Ltd.  
Phone: +91 020 2424 777  
E-Mail: [in.info@hilscher.com](mailto:in.info@hilscher.com)

#### Italien

Hilscher Italia S.r.l.  
Phone: +39 02 250 070 68  
E-Mail: [it.info@hilscher.com](mailto:it.info@hilscher.com)

#### Japan

Hilscher Japan KK  
Phone: +81 (0) 3 5362 0521  
E-Mail: [jp.info@hilscher.com](mailto:jp.info@hilscher.com)

#### Korea

Hilscher Korea Inc.  
Phone: +82 (0) 31 739 8361  
E-Mail: [kr.info@hilscher.com](mailto:kr.info@hilscher.com)

#### Nordamerika

Hilscher North America, Inc.  
Phone: +1 630 505 5301  
E-Mail: [us.info@hilscher.com](mailto:us.info@hilscher.com)

#### Österreich

Hilscher Austria GmbH  
Telefon: +43 (0) 732 931 675-0  
E-Mail: [at.info@hilscher.com](mailto:at.info@hilscher.com)

#### Schweiz

Hilscher Swiss GmbH  
Phone: +41 (0) 32 623 6633  
E-Mail: [ch.info@hilscher.com](mailto:ch.info@hilscher.com)