



Single Pair Ethernet
System Alliance



Januar 2025

Single Pair Ethernet (SPE) System Architekturen

Whitepaper

Autoren:

Simon Seereiner

Weidmüller Gruppe

Albrecht Lohhöfener

Weidmüller Gruppe

Henry Muyschondt

Microchip Technology Inc.

Frank Moritz

SICK AG

Yuri Luskind

Zemfyr

Falko Bilz

Wieland Electric GmbH

Tim Kindermann

Phoenix Contact GmbH & Co. KG

Michael Radau

Phoenix Contact GmbH & Co. KG

Alexandre Perrot

Legrand

Steffen Graf

Texas Instruments

Kristen Mogensen

Texas Instruments

Michael Bückel

Endress + Hauser

Manfred Walter

JUMO GmbH & Co. KG



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Umfang

2. Der All-Ethernet Ansatz

Der Übergang vom Feldbus zum Ethernet
Vision der OT und IT Verschmelzung
Implementierung von SPE in bestehende industrielle Netzwerke

3. Status der heutigen Ethernet Standards

IEEE Standardisierung der SPE-Kanäle
IEC Standardisierung von SPE-Steckverbindern
IEC Standardisierung von SPE-Kabeln
Applikationen über die Spezifikation hinaus

4. Referenz-Architekturen mit SPE

All-Ethernet Architektur unabhängig von der physikalischen Schicht
SPE fähige Protokolle
"Sensor to Cloud" Kommunikation
Referenz Architektur für die Gebäudeautomatisierung
Referenz Architektur für die Fabrikautomatisierung
Referenz Architektur für die Prozessautomatisierung

5. Technologien für die SPE-Systemarchitektur

Energiekonzepte für das SPE-Ökosystem
SPE-Hardwareanforderungen
Software-Sicherheit und -Zuverlässigkeit
Funktionale Sicherheit
SPE in datenzentrierten Architekturen

6. Herausforderungen

Digitaler Wandel
Demografischer Wandel
Staatliche Auflagen und Berichterstattung

7. Zusammenfassung und Handlungsempfehlung



1. Einleitung und Umfang

In den Anfängen der Automatisierung für Fabriken, Gebäude und Prozesse wurden häufig maßgeschneiderte Kommunikationshardware-Architekturen entwickelt, die speziell auf die jeweilige Aufgabe abgestimmt waren. Dies führte zur Entstehung zahlreicher anwendungsspezifischer Kommunikationsbusse, die wiederum dedizierte Gateways benötigten, um miteinander und mit der IT-Infrastruktur des Unternehmens zu kommunizieren. Dadurch wurde die Verkabelung zunehmend komplex, da jede Kommunikationsinfrastruktur individuelle Anforderungen stellte.

Die heutige Automatisierungspyramide, die stark auf Feldbusse und analoge Signalübertragung angewiesen ist, bringt mehrere bedeutende Herausforderungen mit sich. Zwar ermöglichen Feldbusse eine direkte Kommunikation zwischen Sensoren, Aktoren und Steuerungssystemen, oft wird diese jedoch durch begrenzte Bandbreite und Reichweite eingeschränkt. Diese Einschränkungen führen zu Engpässen bei der Datenübertragung und begrenzen die Skalierbarkeit und Flexibilität von Automatisierungssystemen. Darüber hinaus erschwert die Vielfalt an Feldbussen die Wartung und Integration der Systeme. Jeder Bus erfordert spezifisches Fachwissen und individuelle Protokolle, was die Kosten und die Komplexität bei Betrieb und Erweiterung erhöht.

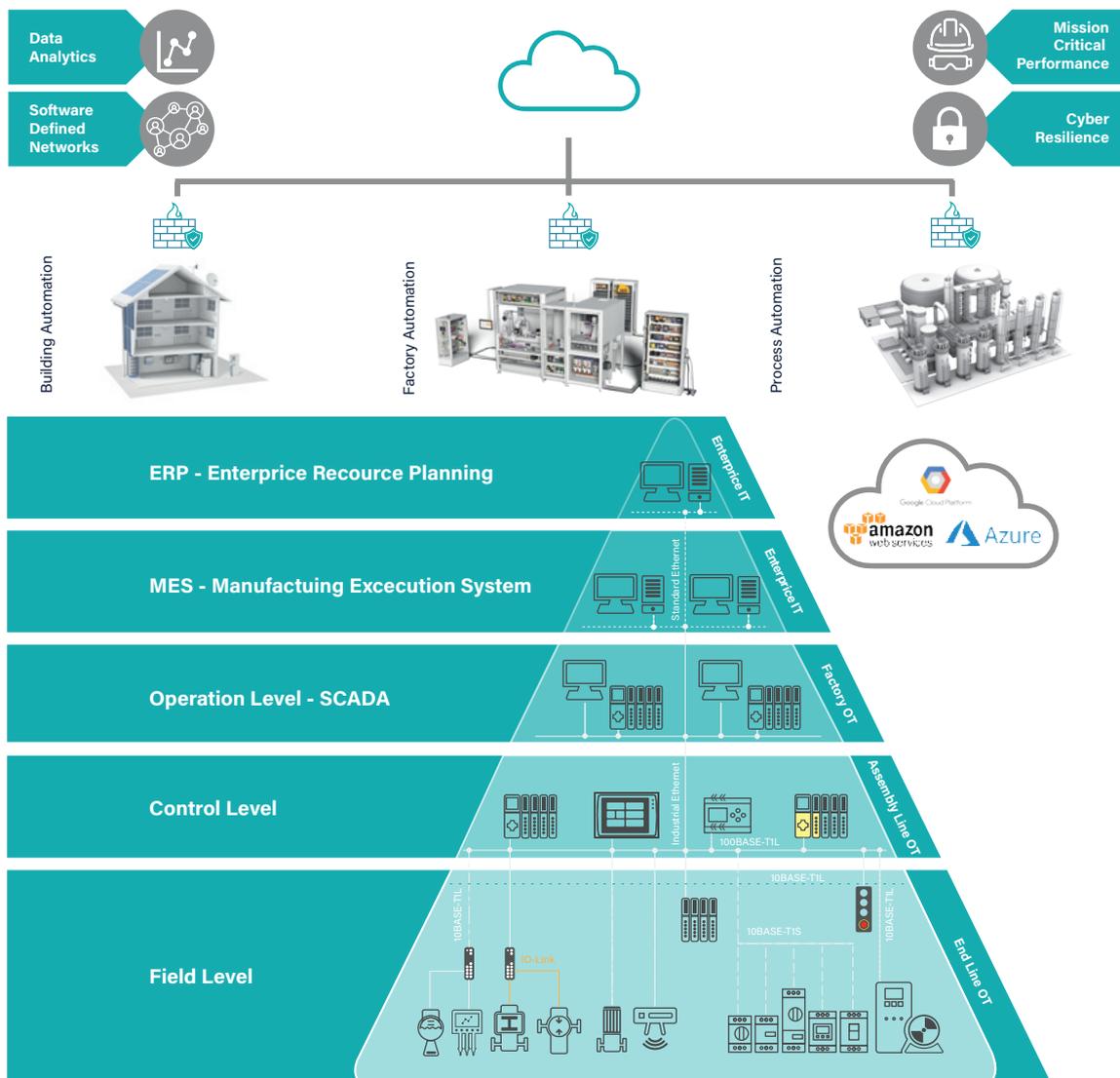


Abbildung 1: Die Automatisierungspyramide in der heutigen Industrie



Ein weiterer zentraler Punkt der heutigen Automatisierungspyramide ist die Cybersicherheit. Viele Feldbus-Systeme und analoge Signalübertragungsmethoden wurden nicht nach modernen Sicherheitsstandards entwickelt. Dies macht sie anfällig für potenzielle Cyberangriffe. Veraltete Protokolle und unsichere Kommunikationswege können es Angreifern ermöglichen, unbefugten Zugriff auf sensible Systeme zu erlangen, den Betrieb zu stören oder sogar kritische Infrastrukturen zu gefährden. Durch den Einsatz standardisierter Sicherheitsprotokolle und moderner Verschlüsselungstechniken können Unternehmen die Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit ihrer Automatisierungssysteme erheblich verbessern und sich effektiv gegen potenzielle Bedrohungen schützen.

Die Integration von Ethernet in die Sensorebene, insbesondere mit SPE, ermöglicht eine durchgängige Kommunikation in der Automatisierungspyramide und bietet die Möglichkeit, moderne Sicherheitsmechanismen zu implementieren.

2. Der All-Ethernet Ansatz

Der aktuelle Trend in der industriellen Automatisierung bewegt sich weg von verteilten, hardwaredefinierten Architekturen hin zu zentralisierten, softwaredefinierten Implementierungen. Anstatt auf Domänen mit spezialisierten Kommunikationsprotokollen zu setzen, ermöglicht dieser Ansatz die Schaffung von Zonen, die mit einer zentralen Computerumgebung verbunden sind.

Eine IP-basierte Architektur, die durchgängig Ethernet verwendet, vereinfacht die Einrichtung dieser Zonen. Mit Ethernet-Technologien wie Virtual LANs (VLANs) können Zonen zur Verbesserung von Sicherheit, Zuverlässigkeit und optimierter Bandbreitennutzung getrennt werden. Dieser Ansatz berücksichtigt zudem unterschiedliche Distanzanforderungen und gewährleistet dabei Flexibilität, während eine schlanke und einheitliche Netzwerkinfrastruktur beibehalten wird.

Der Übergang von Feldbus zu Ethernet

Die Einführung von Ethernet in industriellen Umgebungen nimmt rasant zu. Laut einer Studie von HMS Industrial Networks basierten 2016 noch 64% der industriellen Kommunikationssysteme auf Feldbus-Technologien, während nur 30% Ethernet nutzten. Bis 2024 haben sich diese Zahlen drastisch umgekehrt: 71% der industriellen Kommunikationssysteme verwenden mittlerweile Ethernet, während der Anteil der Feldbusse auf 22% gefallen ist. Drahtlose Lösungen sind derweil mit etwa 7% stabil geblieben. Dieser Wandel verdeutlicht den bedeutenden und anhaltenden Übergang von feldbusbasierten zu Ethernet-basierten Kommunikationssystemen. Die überlegene Skalierbarkeit, Bandbreite und Unterstützung moderner Sicherheitsstandards machen Ethernet zur bevorzugten Wahl, um industrielle Kommunikationssysteme zukunftssicher zu gestalten.

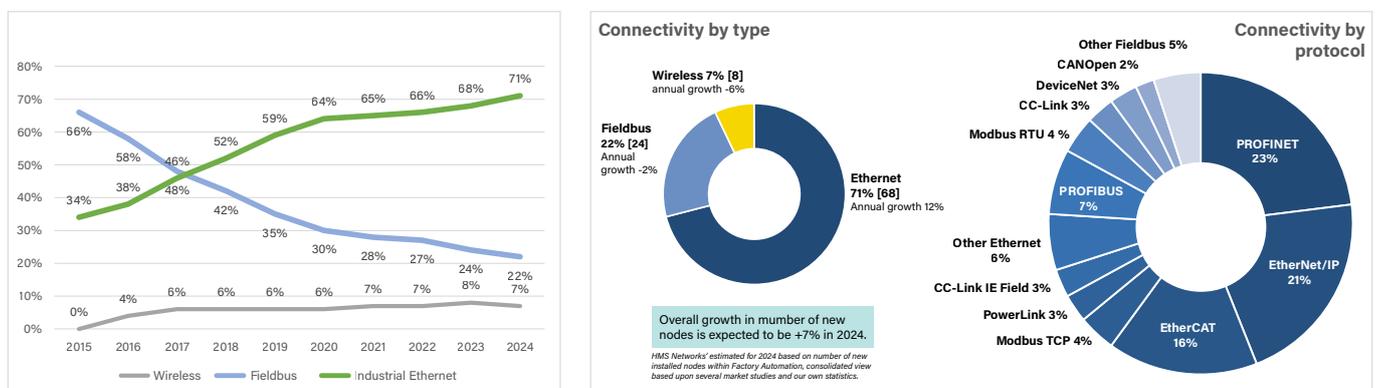


Abbildung 2: Die Entwicklung der industriellen Kommunikation (Quelle: HMS-networks.com)



Vision der OT- und IT-Verschmelzung: Die Zukunft industrieller Steuerungssysteme

Das folgende Diagramm zeigt ein modernes industrielles Steuerungssystem (ICS), bei dem SPE vollständig bis in die Feldebene integriert wurde. Doch wie unterscheidet sich dieses zukünftige ICS von den heutigen Systemen?

In dieser SPE-basierten Architektur sind alle Feldgeräte direkt mit Ethernet verbunden, wodurch die Vielzahl heterogener Legacy-Netzwerke und -Protokolle, die derzeit in industriellen Umgebungen verwendet werden, überflüssig wird. Die komplexen und kostspieligen Gateways, die bisher benötigt wurden, um diese Legacy-Netzwerke mit Ethernet zu verbinden, werden durch einfachere und effizientere SPE-Switches ersetzt.

SPE ermöglicht die durchgängige Anbindung von Feldgeräten – wie Sensoren, Aktoren und anderen IIoT-Geräten – direkt an Ethernet. Mit einem einfachen 2-adrigen Twisted-Pair-Datenkabel unterstützt SPE-Entfernungen von bis zu 1 km, Datenraten von mindestens 10 MBit/s und eine Stromversorgung von bis zu 50 W. Diese Innovation vereinfacht die Netzwerkinfrastruktur, verbessert die Skalierbarkeit und schafft eine einheitliche Grundlage für die Verschmelzung von OT- und IT-Systemen.

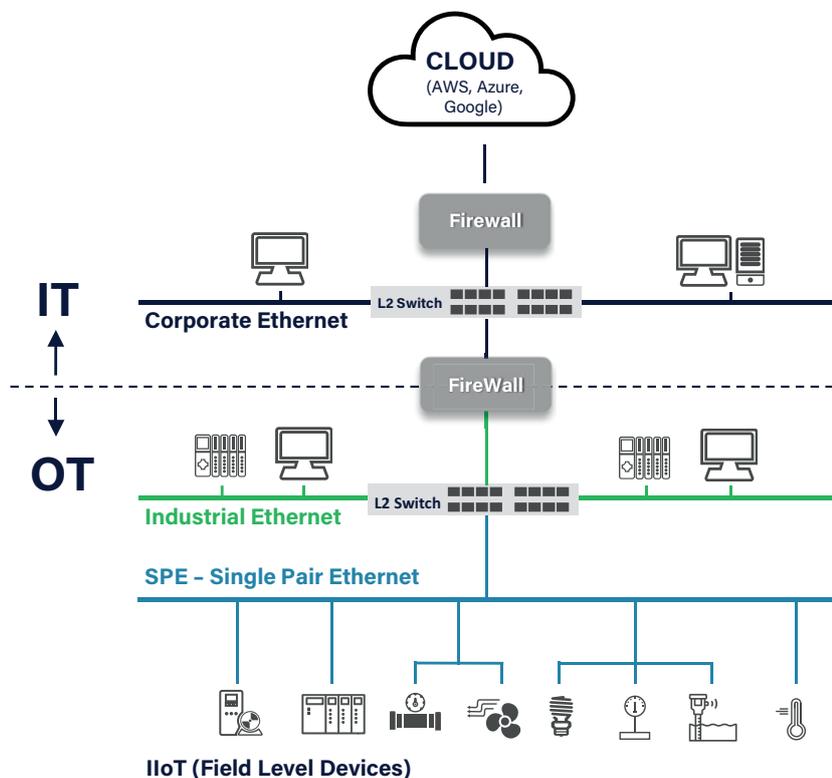


Abbildung 3: Verbindung von IT- und OT-Umgebung

SPE ist eine Schlüsseltechnologie für die Industrie 4.0 und bietet mehrere bedeutende Vorteile:

1. End-to-End Ethernet:

- Vereint Legacy-Netzwerke in einer einzigen, Ethernet-basierten Infrastruktur.
- Reduziert Kosten (CapEx / OpEx).

2. Sichere Cloud IIoT-Konnektivität:

- Ermöglicht sichere, bidirektionale Kommunikation zwischen Geräten und der Cloud.



3. Erweiterte Cybersicherheit:

- Bietet Sicherheit auf Geräteebene.
- Integriert sich nahtlos in bestehende Cyber Security Frameworks.
- Nutzt bewährte Netzwerksicherheitsmethoden.

4. Vorausschauende Wartung und Nutzung von künstlicher Intelligenz und Machine Learning:

- Erhöhte Zuverlässigkeit, reduzierte Kosten.

5. Unterstützung von Industrie 4.0-Protokollen:

- Vollständig kompatibel mit Steuerungsprotokollen wie OPC UA und anderen.

Implementierung von SPE in bestehende industrielle Netzwerke

In der Fabrik-, Prozess- und Gebäudeautomation werden nach wie vor anlagenspezifische Feldbusse eingesetzt. Obwohl sich Ethernet als Kommunikationsstandard zwischen der Anlagensteuerung und dem übergeordneten Leitsystem etabliert hat, finden wir in der Feldebene häufig die serielle Schnittstelle RS485. Für die Kommunikation zwischen Leitsystem, Sensoren und Aktoren werden Protokolle wie Profibus, CANopen, Modbus, BACnet und proprietäre Protokolle verwendet. Dies mag einfach erscheinen, in der Praxis erfordern diese jedoch Expertenwissen über die jeweilige Feldbustechnologien. Darüber hinaus sind die verschiedenen Protokolle nicht miteinander kompatibel, was den Einsatz von Gateways erforderlich macht. Dies führt zu zusätzlichen Kosten für die Verkabelung und Einrichtung der Gateways.

Hier kommt SPE ins Spiel, das eine effektive Lösung zur Aufrüstung von Feldbussystemen für das IIoT darstellt. SPE kann die Latenzprobleme von seriellen Systemen lösen, die mit deutlich niedrigeren Übertragungsraten arbeiten, als es 10BASE-T1S und 10BASE-T1L ermöglichen. SPE-Kabel sind 2-adrig-Kabel und daher ebenso einfach zu installieren wie Kabel für serielle Feldbusse. 10BASE-T1L ermöglicht zudem PoDL (Power over Data Line), d.h. die Übertragung von bis zu 50 W Leistung (siehe IEC 61156-12, Tabelle G1) zu einem Sensor oder Aktor. Andere SPE-Geschwindigkeitsvarianten bieten weitere PoDL-Typen. Eine homogene Ethernet-Systemarchitektur erhöht zudem die Zuverlässigkeit und Administration der Systeme sowie die Cybersicherheit im gesamten Netzwerk.

3. Status der heutigen Ethernet-Standards

Die IEEE 802.3-Serie umfasst mehrere Ethernet-Standards auf der physikalischen Ebene, die jeweils für spezifische Anwendungen und Umgebungen entwickelt wurden. Diese Standards wurden für drahtloses Ethernet, Kupfer- und Glasfaser-Ethernet geschaffen.

In den letzten Jahren wurde die Datenrate für Standard-Ethernet in industriellen Anwendungen von 100 MBit/s bis hin zu 10 GBit/s erweitert, wobei die Reichweite für alle Geschwindigkeiten auf 100 m begrenzt ist. SPE bietet hingegen größere Distanzen und unterstützt alle gängigen Datenraten (10 MBit/s bis 1 GBit/s).

IEEE-Standardisierung der SPE-Kanäle

Das folgende Diagramm zeigt die aktuellen SPE-Kommunikationskanäle, sortiert nach Bandbreite (10 MBit/s bis 25 GBit/s) und Kabellänge. Die angegebene Kabellänge ist als „Mindestlänge“ definiert, gemäß der IEEE-Spezifikation (weitere Details im Kapitel „Anwendungen über die Spezifikation hinaus“).



Anwendungsbereiche werden durch die Kombination von Geschwindigkeit und Kabellänge bestimmt: Hohe Geschwindigkeiten und kurze Längen dominieren den Automobilsektor, während längere Längen und niedrigere Bandbreiten für die Automatisierungssegmente vorgesehen sind.

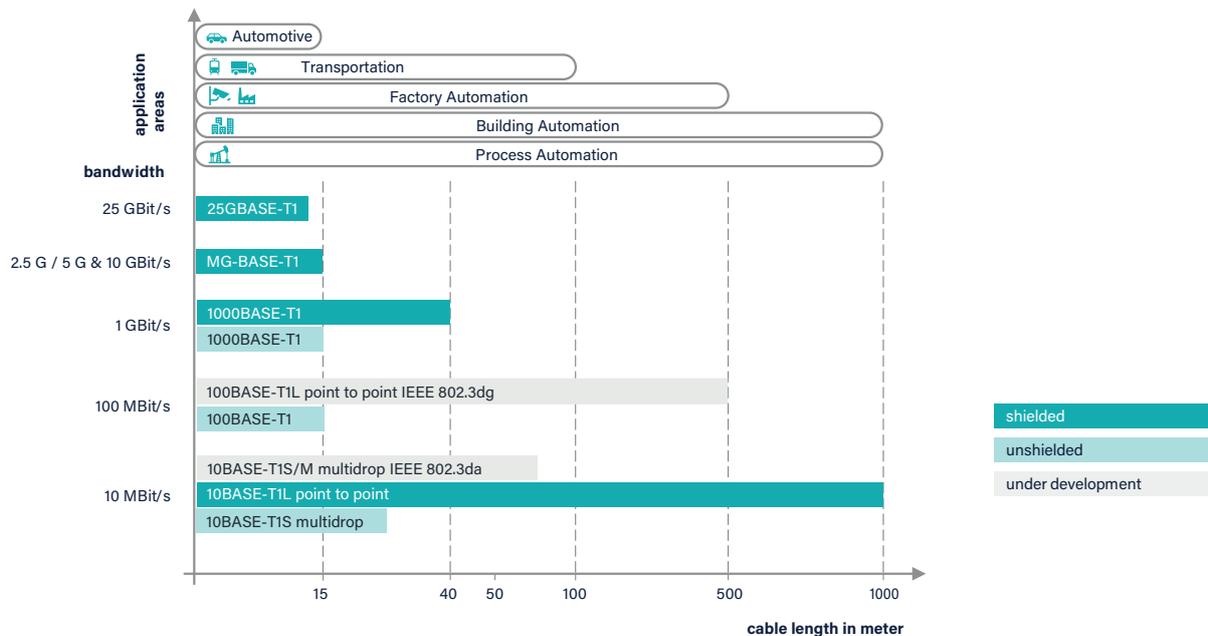


Abbildung 4: Verschiedene SPE-Kanäle sortiert nach Bandbreite und Kabellänge

IEC Standardisierung von SPE-Steckverbindern

Der RJ45-Stecker ist in der Kommunikationstechnik weit verbreitet, jedoch nicht optimal für industrielle Anwendungen, da er nur auf einer Seite kontaktiert und somit unter extremen Bedingungen Kontaktprobleme auftreten können. Industrielle SPE-Steckverbinder gemäß IEC 63171 verfügen über elektrische Kontakte auf beiden Seiten, (wie z.B. beim Tulpenkontakt) und bieten daher verbesserte Sicherheit, geringeren Kontaktwiderstand, Vibrationsbeständigkeit und bessere Zugfestigkeit unter Last.

Die IEC 63171-Normreihe erstreckt sich nicht nur auf die einzelnen Varianten der Steckgesichter, sondern umfasst auch die elektrischen und Übertragungseigenschaften. Die Unterabschnitte der IEC 63171 definieren die unterschiedlichen Steckgesichter der Steckverbinder, die alle allgemeinen technischen Anforderungen des Basisstandards IEC 63171 erfüllen. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Struktur der gesamten Norm. Einige IEEE-Spezifikationen erwähnen spezifische Varianten der IEC 63171, aber alle Varianten entsprechen den definierten elektrischen Übertragungseigenschaften.

Die Automatisierungsgemeinschaft PROFIBUS & PROFINET International (PI), mit über 1.800 Mitgliedern, darunter viele Unternehmen der Single Pair Ethernet System Alliance, hat zur SPS 2024 ein einheitliches Steckgesicht für SPE vorgestellt und zur internationalen Standardisierung eingereicht. Als Wegbereiter offener Technologien wie PROFIBUS und PROFINET treibt die PI marktführende Standards für alle Bereiche der industriellen Produktion voran. Die Einigung auf ein SPE-Steckgesicht ist ein entscheidender Meilenstein hin zu zukunftssicherer Kommunikation.

Zahlreiche Hersteller haben ihre Unterstützung signalisiert und treiben die Umsetzung aktiv voran.



Abbildung 5: Beispiel für IEC 63171-7 konforme Steckverbinder

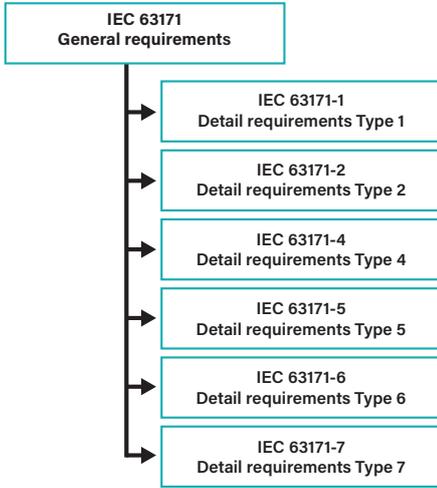


Abbildung 6: Der Steckerstandard nach IEC 63171

Abbildung 7: Beispiel für IEC 63171-2/-5 konforme Steckverbinder

Für Anwendungen mit einer Übertragung von 10BASE-T1 sind die Anforderungen an Steckverbinder und Kabel etwas schwächer gegenüber 100BASE-T1 und 1000BASE-T1.

Allerdings sind die Anforderung an Schirmung und Symmetrie genauso anspruchsvoll wie bei 100BASE-T1 und 1000BASE-T1. Die verwendeten Klemmen und Steckverbinder müssen demzufolge den Anforderungen in Tabelle 1 entsprechen:

Spezifikation	Min	Max
Current per Contact	4 A @ 60°C	
Rated voltage contact to contact	50 V DC	
Isolation voltage contact to shield	1500 V AC	
Insertion loss (IL)		$0,02 \times \sqrt{f}$ 0,1 to 20MHz (Whenever the equation results in a value less than 0,1 dB, the requirement shall revert to 0,1 dB.)
Return loss (RL)		$48 - 20 \log(f)$ 0,1 to 20MHz (Whenever the equation results in a value greater than 30 dB, the requirement shall revert to 30 dB.)
Coupling Attenuation E3		$120 - 20 \log(f)$ 0,1 to 20 MHz (Whenever the equation results in a value greater than 75 dB, the requirement shall revert to 75 dB.) When coupling attenuation meets or exceeds the values of $105 - 20 \log(f)$, the PS ANEXT and the PS AFEXT limits are met by design.
DC resistance per contact		0.025 Ω

Tabelle 1: Elektrische Anforderungen an Klemmen und Steckverbinder Auszug aus der IEC 63171 Edition 2.



IEC-Standardisierung von SPE-Kabeln

Die internationale Standardisierung von SPE-Kabeln erfolgt über die IEC 61156-Serie und die Kanal-Definition der IEEE 802.3 für SPE. Die IEC 61156-11 bis IEC 61156-14 klassifizieren SPE-Kabel, definieren Materialien und Kabelkonstruktionen sowie Übertragungseigenschaften und Tests.

Standard	Beschreibung
IEC 61156-11	Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications - Part 11: Symmetrical single pair cables with transmission characteristics up to 1,25 GHz - Horizontal floor wiring - Sectional specification
IEC 61156-12	Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications - Part 12: Symmetrical single pair cables with transmission characteristics up to 1,25 GHz - Work area wiring - Sectional specification
IEC 61156-13	Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications - Part 13: Symmetrical single pair cables with transmission characteristics up to 20 MHz - Horizontal floor wiring - Sectional specification
IEC 61156-14	IEC 61156-14: Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications - Part 14: Symmetrical single pair cables with transmission characteristics up to 20 MHz - Work area wiring - Sectional specification

Tabelle 2: SPE-Kabel-Standards Auszug aus der IEC 61156.

Für die verschiedenen IEEE-Anwendungen sind vier Hauptstandards für SPE-Kabel relevant:

IEEE Applikation	Kabel Norm	Bandbreite gem. IEEE	Länge gem. IEEE
10 BASE-T1 (802.3cg)	IEC 61156-13, IEC 61156-14	20 MHz	T1L: 1000 m T1S: 25 m
100 BASE-T1(802.3 bw)	IEC 61156-11, IEC 61156-12	66 MHz	40 m (500m in development)
1000 BASE-T1(802.3 bp)	IEC 61156-11, IEC 61156-12	1,25 GHz	40 m

Tabelle 3: SPE-Kabel-Standards Auszug aus dem aus der IEEE 802.3.

Anwendungen über die Spezifikation hinaus

IEEE-Standards erwähnen teilweise Steckverbinder und Komponenten, diese dienen aber nur als Beispiele. Die technischen Spezifikationen konzentrieren sich auf Merkmale wie Einfügedämpfung, Rückflusdämpfung und Modenkonzersion. Spezifische Kabellängen und Knotenzahlen sind nicht genormt; sie stellen lediglich anfängliche Mindestziele dar, die von praktischen Implementierungen häufig übertroffen werden.

So definiert beispielsweise Abschnitt 147.8 der Norm IEEE 802.3cg-2019 das 10BASE-T1S-Mischsegment für eine Verkabelung:

"Ein Mischsegment wird auf der Grundlage einer Verkabelung spezifiziert, die mindestens 8 Knoten und eine Reichweite von 25 m unterstützt. Eine größere PHY-Anzahl und/oder Reichweite kann erreicht werden, sofern die Spezifikationen für Mischsegmente in 147.8 erfüllt sind."

Die Verkabelung sollte also mindestens eine bestimmte Anzahl von Knoten und eine bestimmte Distanz unterstützen, aber jedes Mischsegment, das die in der entsprechenden Klausel definierten Spezifikationen erfüllt, ist geeignet. Qualitativ hochwertige Kabel und Steckverbinder übertreffen diese Mindestanforderungen deutlich. Demonstrationen haben beispielsweise gezeigt, dass 50 Knoten über 100 m Verkabelung verbunden werden können. Oszilloskop-Messungen zeigen dabei gut definierte Augen-diagramme der Signale.



4. Referenz-Architekturen mit SPE

All-Ethernet Architektur unabhängig von der physikalischen Schicht

Sobald eine Ethernet-Architektur implementiert ist, kann eine Vielzahl von physikalischen Schichten verwendet werden, um die Datenraten für verschiedene Anwendungen zu optimieren. Ein Ethernet-Switch kann problemlos zwischen verschiedenen Datenraten umschalten. An jeden Switch-Port können verschiedene PHYs angeschlossen werden. So können beispielsweise Daten, die mit 10 MBit/s eingehen, mit einer anderen Geschwindigkeit ausgegeben werden. Diese Flexibilität ist wertvoll, da einfachere Geräte möglicherweise keine hohen Datenraten verarbeiten können. Langsamere Datenströme können aggregiert und über schnellere Verbindungen in übergeordneten Systemen übertragen werden. Die nachstehende Abbildung zeigt einen möglichen Ethernet-Einsatz.

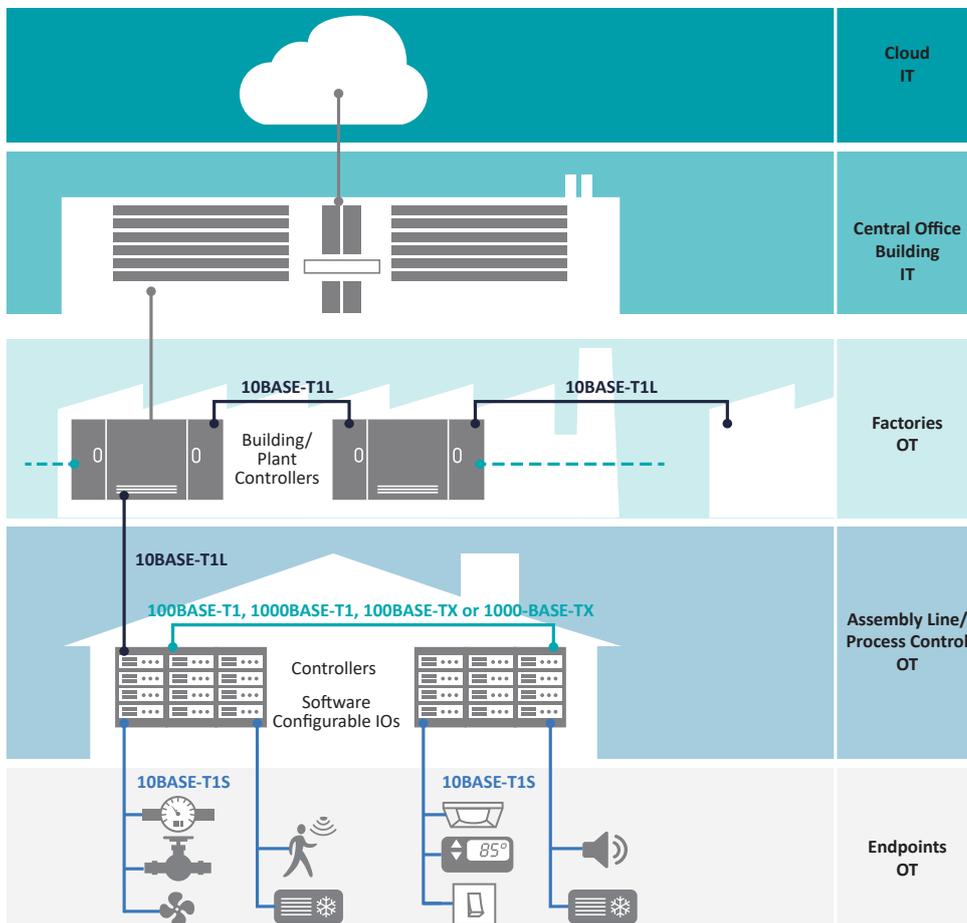


Abbildung 8: Ein möglicher Ethernet-Einsatz

An der Schnittstelle zwischen der digitalen und der physischen Welt können die meisten Sensoren und Aktoren mit einer 10-MBit/s-Datenverbindung arbeiten. 10BASE-T1S und 10BASE-T1L Ethernet bieten eine gute Schnittstelle zum OT-System des Unternehmens, das seinerseits mit einem übergeordneten IT-System kommunizieren kann. 10BASE-T1S ist für kürzere Entfernungen gedacht und bietet Multidrop-Fähigkeiten, mit denen mehrere Geräte an eine einzige Leitung angeschlossen werden können. Dadurch wird die Anzahl der PHYs, die bei jeder Implementierung benötigt werden, reduziert und die Verdrahtung vereinfacht. 10BASE-T1L ist eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung, ermöglicht aber größere Entfernungen (bis zu 1 km) zwischen einem Sensor oder Aktor und dem Ethernet-Switch.



Die nachfolgende Abbildung zeigt das OSI-Referenzmodell (Open Systems Interconnect). Eine All-Ethernet-Architektur ermöglicht es, dass alle Schichten in einem Gerät eine einheitliche Struktur nutzen, um mit den entsprechenden Schichten in einem anderen Gerät zu kommunizieren. Innerhalb des Modells ändern sich nur die physikalische Schicht (1) und Teile der Data-Link Schicht (2), wenn zwischen verschiedenen Ethernet-Geschwindigkeiten gewechselt wird. Die Netzwerkschicht (3) und alle höheren Schichten bleiben davon unberührt.

SPE-fähige Protokolle

Wie der vorherige Abschnitt zeigt, können IP-basierte Protokolle in einer All-Ethernet-Architektur problemlos übertragen werden. Protokolle wie MQTT, OPC UA, EtherNet/IP, Modbus TCP, UDP, BACnet/IP und KNX/IP, sind über die Standards 10BASE-T1S und 10BASE-T1L möglich. Diese nicht-deterministischen Protokolle garantieren jedoch keine Echtzeitkommunikation, was für viele Anwendungen unkritisch ist.

Deterministische Protokolle wie PROFINET IRT (Isochronous Real-Time), EtherCAT, SERCOS III oder POWER-LINK werden für zeit- oder winkelsynchrone Positionierungen verwendet und erfordern oft höhere Bandbreiten oder deterministische Latenzen.

Durch die Implementierung von Time-Sensitive Networking (TSN) wird deterministische Kommunikation auch auf 10BASE-T1S und 10BASE-T1L ermöglicht. Künftige Erweiterungen bestehender Industrieprotokolle könnten somit ebenfalls SPE nutzen. Ein Beispiel hierfür ist OPC UA, das durch TSN bereits eine offene, deterministische Kommunikation im industriellen Kontext ermöglicht.

“Sensor to Cloud“-Kommunikation

Sensoren sind die Quelle für eine Vielzahl von Daten, darunter Messwerte und Diagnose- bzw. Überwachungsdaten. Diese Nutzung dieser Daten in lokalen und dezentralen Services ist entscheidend für die Optimierung von Fabriken oder Anlagen. Wichtig für alle Services ist, dass sie eine durchgängige, unterbrechungsfreie Übertragung ermöglichen.

SPE ermöglicht eine durchgängige Verbindung von Ethernet-basierten Datenquellen im Feld zur IT-Welt. Geräte mit 10BASE-T1S oder T1L SPE können

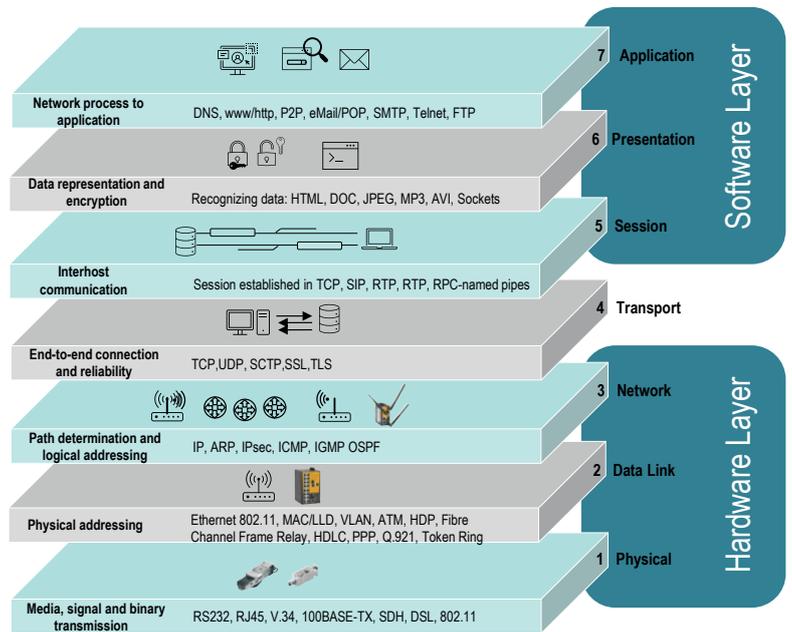


Abbildung 9: OSI Schichtenmodell



Abbildung 10: Sensoren im IIoT



z.B. Services und Server direkt auf Sensoren betreiben, wie z.B. OPC UA-Server oder andere Webservices wie HTTP oder MQTT, die zu jeder Informationsarchitektur passen.

Ein Ethernet-basierter Sensor wird zu einem direkten Teilnehmer eines flexiblen Informationsnetzwerks, das auch die Daten direkt zwischen Sensoren austauschen kann. Dieser All-IP-Ansatz erweitert die klassische zentrale Kommunikation durch intelligentes Datenmanagement in Smart Factories.

Gateways zur Protokollumsetzung sind nicht erforderlich, was eine kostengünstige und effiziente Kommunikationsarchitektur ermöglicht. Bewährte IT-Sicherheitsstandards gewährleisten die Cybersicherheit des Sensornetzwerks. SPE stellt die zukunfts-sichere Schnittstelle für Sensoren dar, die sich nahtlos in jedes IP-basierte Netzwerk integrieren lässt, und ist der Enabler für die kabelgebundene IIoT-Kommunikation.

Referenzarchitektur für die Gebäudeautomatisierung

Die Gebäudeautomation entwickelt sich stetig weiter. Die SPE-Technologie bietet für gewerbliche und industrielle Gebäude viele Vorteile, von der vereinfachten 2-Draht-Verkabelung bis hin zu mehr Flexibilität und Skalierbarkeit.

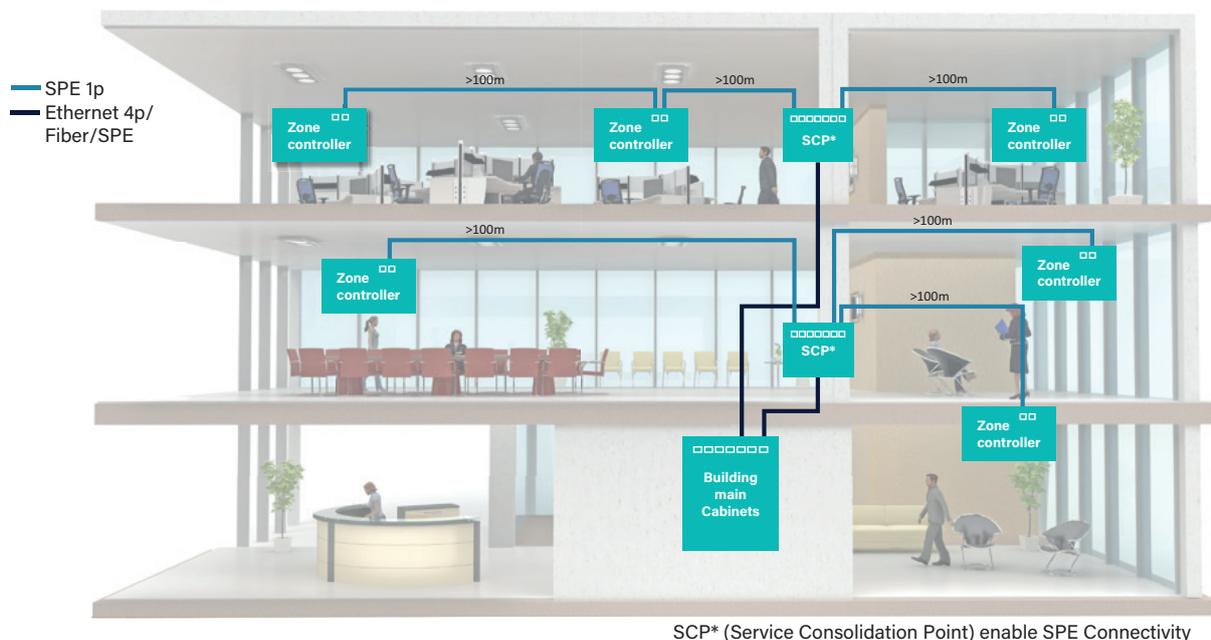


Abbildung 11: Darstellung eines Gebäudes mit SPE

SPE bietet eine kostengünstige Langstreckenverbindung und erweitert die Reichweite von Netzwerken ohne teure oder komplexe Infrastruktur. Es unterstützt sowohl die Stern- als auch die Daisy-Chain-Verkabelung, was Flexibilität und Skalierbarkeit bietet, um die unterschiedlichen Anforderungen gewerblicher Gebäude zu erfüllen. Die Daisy-Chain-Topologie ermöglicht es, Geräte in Serie zu verbinden und eine kontinuierliche Kette der Vernetzung zu bilden, was die Netzwerkerweiterung und -umkonfiguration vereinfacht und ideal für dynamische Umgebungen ist. Neue Geräte lassen sich per Daisy-Chaining ohne komplexe Verkabelung oder zusätzliches Equipment hinzufügen. Das Gebäudeautomatisierungssystem gewinnt dadurch Skalierbarkeit für wachsende Anforderungen an die IP-Konnektivität. Dabei reduzieren sich bei der Netzwerkerweiterung die Kosten und Aufwände. Organisationen können neue Geräte und Technologien integrieren und gleichzeitig eine leistungsstarke Netzwerk-Infrastruktur aufrechterhalten. Abbildung 11 zeigt den Aufbau der Steuergeräte (Zone Controller) mit Daisy-Chaining (zweiter Stock).



SPE maximiert damit die Effizienz in gewerblichen Gebäuden. SPE-Steckverbinder und -Kabel sind kompakt und ermöglichen eine höhere Dichte von Geräten. Dies ist besonders in Umgebungen entscheidend, wo jeder Zentimeter zählt und effizientere Netzwerkkonfigurationen erwünscht sind. Dank SPE werden Netzwerkschränke diskreter und lassen sich somit leichter integrieren, ohne dass Leistung und Zuverlässigkeit darunter leiden.

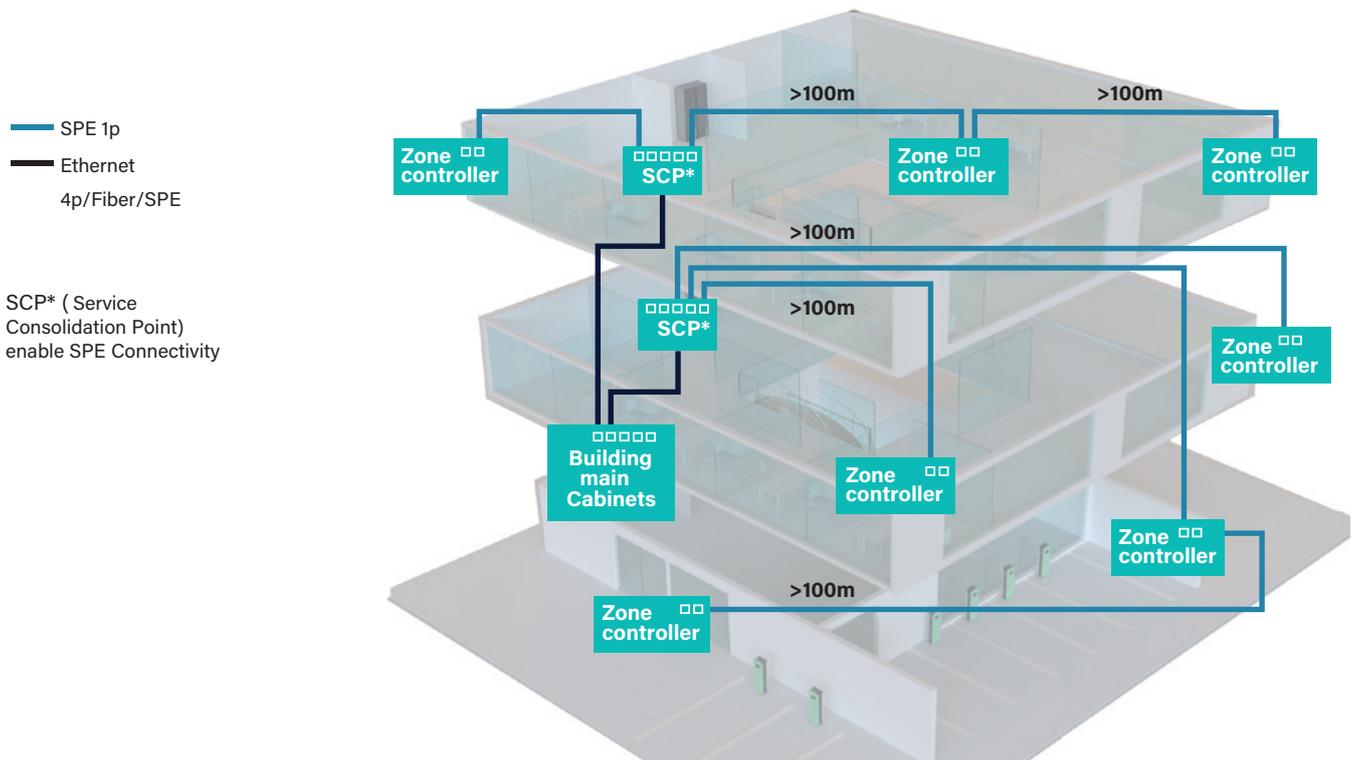


Abbildung 12: SPE - Die Zukunft der Vernetzung von Geschäftsgebäuden

Power over Ethernet (PoE), standardisiert in 802.3af, benötigt 4 bis 8 Drähte, um Strom an Geräte zu liefern. Für SPE-Anwendungen bietet Power over Data Line (PoDL), standardisiert in 802.3bu, eine einfache Lösung: Es nutzt lediglich die vorhandenen zwei SPE-Drähte und kann dabei bis zu 50 Watt übertragen. Dadurch wird auch die Stromverteilungsinfrastruktur innerhalb eines Gebäudes vereinfacht. Dies ist besonders nützlich in Szenarien, in denen PoE noch nicht vorhanden ist oder in denen PoE aufgrund bestehender Verdrahtungsbeschränkungen nicht realisierbar ist.

Durch den Einsatz von SPE-Switches oder Routern an strategischen Punkten können Organisationen eine zuverlässige, leistungsstarke Netzwerk-Infrastruktur schaffen, die den aktuellen Anforderungen entspricht und sich problemlos an zukünftige Erweiterungen und Innovationen anpasst. SPE senkt die Installationskosten durch vereinfachte Verkabelung und ermöglicht die Anbindung einer größeren Anzahl von IP-Geräten, einschließlich IPv6-fähiger Komponenten. SPE-Switches bieten mehrere wesentliche Vorteile. Sie vereinfachen die Installation, indem sie die Verkabelung reduzieren und nur ein Adernpaar für die Konnektivität benötigen. Dadurch wird die Installation schneller und einfacher, was die Arbeits- und Materialkosten senkt.

Die inhärente Skalierbarkeit und Anpassungsfähigkeit machen SPE zur idealen Lösung für moderne, dynamische Geschäftsumgebungen. Mit der Einführung von SPE können Organisationen von niedrigeren Installationskosten, erhöhter Gerätevernetzung und einer zukunftssicheren Infrastruktur profitieren, die sie wettbewerbsfähig und agil hält.



Referenzarchitektur für die Fabrikautomatisierung

In modernen industriellen Anwendungen, insbesondere auf der Sensor- und Aktorebene der Automatisierungspyramide, erschwert eine stark heterogene Schnittstellenlandschaft eine durchgängige Ethernet-Kommunikation bis zur Feldebene. Derzeit kommen verschiedene Schnittstellendesigns wie 4-20mA, HART, EtherCAT, IO-Link, CAN, CC-Link und andere zum Einsatz. Dies erfordert den Einsatz mehrerer Gateways, was den Planungsaufwand für das gesamte System erheblich erhöht, insbesondere in Bezug auf Verkabelung und Netzwerktechnik.

Die Einführung der SPE-Technologie schafft die Grundlage für eine durchgängige Ethernet-Kommunikation auf der physikalischen Ebene bis hin zur Feldebene. Mit SPE wird Ethernet-Kommunikation bis zur Feldebene Realität, sodass alle wichtigen Prozesswerte von Sensoren und Aktoren den Teilnehmern der Automatisierungspyramide mit der entsprechenden Berechtigung zur Verfügung gestellt werden können.

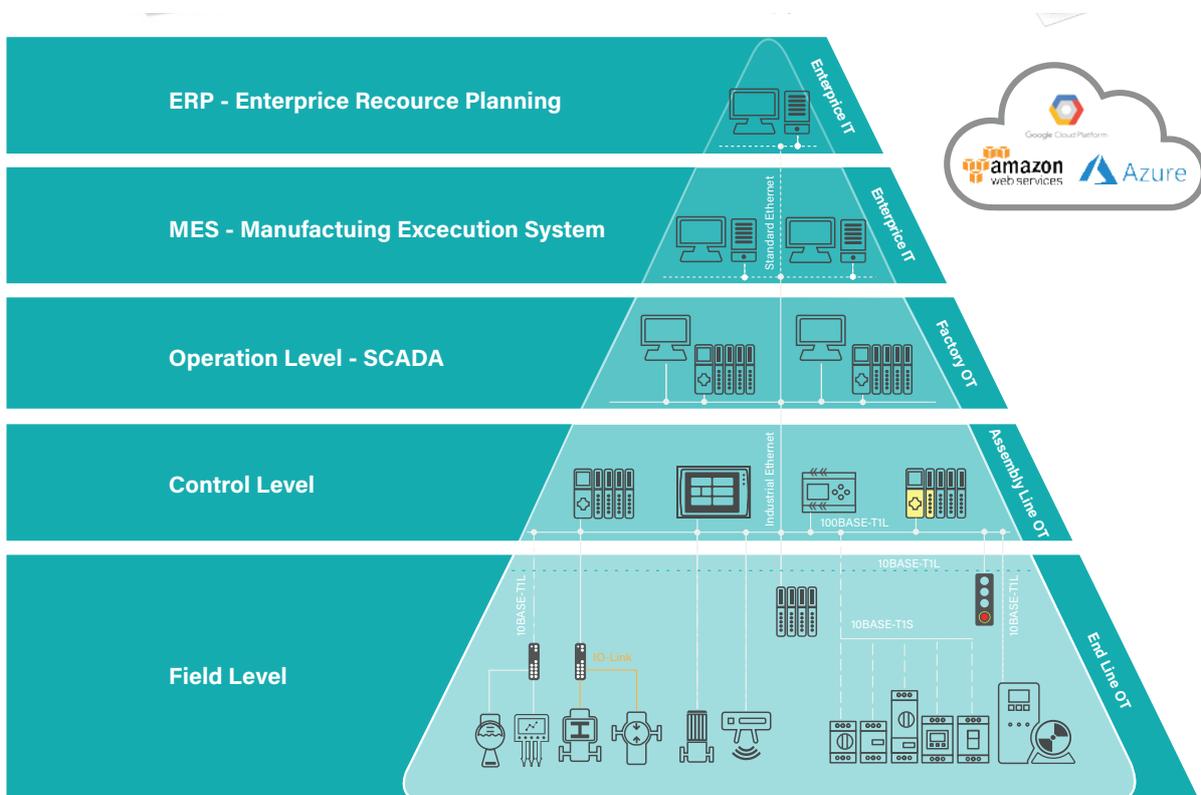


Abbildung 13: Durchgängige Ethernet Kommunikation über alle Schichten der Automatisierungspyramide

IT und OT verschmelzen bis zur Sensorik auf der Feldebene, wodurch Medienbrüche entfallen. Erstmals wird eine durchgängige Ethernet-Kommunikation ermöglicht, wodurch Industrie 4.0 nahtlos bis zur Feldebene realisiert wird.

Referenzarchitektur für die Prozessautomatisierung

Ethernet-APL (Advanced Physical Layer), auch bekannt als 2-WISE (2-Draht- intrinsisch sicheres Ethernet), ist eine erweiterte physikalische Schicht für SPE basierend auf 10BASE-T1L. Es ermöglicht die Kommunikation über eine Kabellänge von bis zu 1000 m bei 10 MBit/s im Full-Duplex-Modus, was mehr als 300 Mal schneller ist als aktuelle Feldbus-Technologien. Ethernet-APL kann die Prozessindustrie revolutionieren, indem es eine größere Reichweite und robuste Kommunikation bietet.

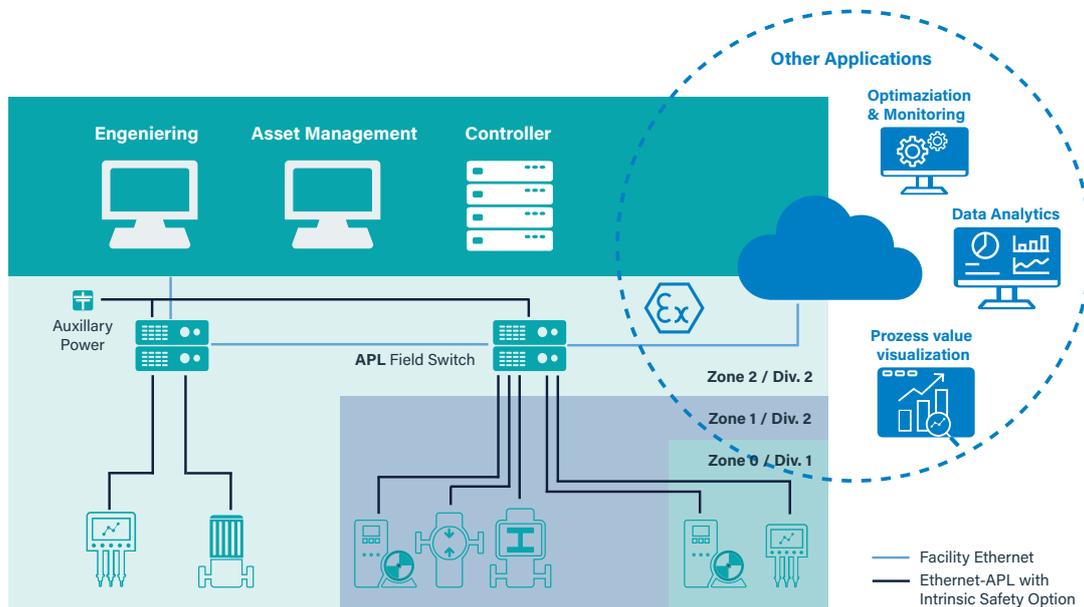


Abbildung 14: Zonen-Architektur mit APL

Es fügt sich nahtlos in Industriestandards ein, ermöglicht deterministische Kommunikation für kritische Anwendungen und verbessert Diagnosen und Wartung. Dank seiner Anpassungsfähigkeit an bestehende Systeme, der Flexibilität in der Netzwerktopologie und der Erfüllung branchenspezifischer Anforderungen ist es eine wegweisende Technologie, die die Leistung und Effizienz industrieller Prozesse optimiert.

Die wichtigsten Vorteile von Ethernet-APL in der Prozessindustrie:

1. Erweiterte Reichweite

Ethernet-APL ermöglicht die Ethernet-Datenübertragung über größere Entfernungen im Ex-Bereich und eignet sich somit für große Industrieanlagen.

2. Widerstandsfähigkeit gegenüber rauen Umgebungen

Ethernet-APL ist so konzipiert, dass es extremen Bedingungen in der Prozessindustrie standhält und eignet sich hervorragend für Umgebungen mit explosiver Atmosphäre.

3. Durchgängige Integration in bestehende Systeme

Ethernet-APL ist für die nahtlose Integration in bestehende Ethernet-Systeme ausgelegt, sodass die Industrie ihre Infrastruktur ohne größere Unterbrechungen oder Komplettüberholung aufrüsten kann. Zusätzliche Gateways für Protokoll-Mapping sind nicht erforderlich.

4. Deterministische Kommunikation für kritische Anwendungen

Für kritische Prozessanwendungen ist eine deterministische Kommunikation unerlässlich. Ethernet-APL bietet eine deterministische Kommunikationsumgebung, die einen präzisen und rechtzeitigen Datenaustausch gewährleistet, was für zeitkritische Anwendungen wie Kontrollsysteme entscheidend ist.

5. Einhaltung von Industriestandards

Bei der Entwicklung von Ethernet-APL wurde auf die Einhaltung von Industriestandards geachtet, um die spezifischen Anforderungen der Prozessindustrie zu erfüllen. Dies erleichtert die Einhaltung von Vorschriften und die Einführung der Technologie.



6. Verbesserte Netzwerkflexibilität:

Ethernet-APL bietet mehr Flexibilität in der Netzwerktopologie und ermöglicht eine anpassungsfähigere und skalierbare Kommunikationsinfrastruktur. Dies ist besonders wichtig für Unternehmen, die ihre Prozesse anpassen oder ihren Betrieb erweitern möchten.

7. Verbesserte Diagnostik und Wartung:

Die Technologie bietet verbesserte Diagnosemöglichkeiten, die die Identifizierung und Behebung von Problemen innerhalb des Kommunikationsnetzes erleichtern, dies reduziert Ausfallzeiten und erleichtert proaktive Wartungsmaßnahmen.

	Ethernet-APL	Single Pair Ethernet
Technologie	Zweidraht-Technologie	Zweidraht-Technologie
Ethernet Standards	10BASE-T1L, IEC TS 60079-47 (2-WISE)	10BASE-T1S, 10BASE-T1L, 100BASE-T1, 1000BASE-T1
Datenübertragung	10 MBit/s	10 MBit/s bis 10 GBit/s
Energieübertragung	2-WISE-Stromversorgung (2-Wire Intrinsically Safe Ethernet) begrenzt den Strom in Ex-Bereichen, unterstützt verschiedene Leistungsstufen und minimiert Funkenbildung.	PoDL (Power over Dataline) überträgt bis zu 50 W über ein einziges Aderpaar
Kabel / Leiterlänge	bis 1000 m (bis zu 200 m in Ex-Zone 0)	15 bis 1000 m
Hauptanwendung	Prozessindustrie	Fabrikautomation und Gebäudeinfrastruktur
Besonderheiten	Die Erweiterung des 10BASE-T1L Standards gemäß IEEE 802.3cg beinhaltet zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen, die speziell auf die Bedürfnisse der Prozessindustrie in explosionsgefährdeten Bereichen zugeschnitten sind.	Miniaturisierung, Industrietauglichkeit, Einfachheit, Zukunftssicherheit
Verbindungstechnik	Klassische Klemmen mit Schraub- oder Zugfederanschluss, wie Omnimate® Leiterplattenkomponenten, Einbau- und feldkonfektionierbare Stecker (M12).	Steckverbinder mit miniaturisierten Steckgesichtern, Patchkabel, konfektionierte Stecker, M8-Adapter sowie IP20- und IP67 Buchsen in verschiedenen Abgangsrichtungen.

Tabelle 4: Unterschiede zwischen SPE und APL

Zusammengefasst spielt Ethernet-APL eine entscheidende Rolle bei der Bewältigung der einzigartigen Kommunikationsherausforderungen der Prozessindustrie, indem es eine auf die spezifischen Bedürfnisse der Branche zugeschnittene Lösung bietet. Der Fokus auf Zuverlässigkeit, Robustheit und durchgängige Integration macht es zu einer wertvollen Technologie für die Verbesserung der Kommunikation in industriellen Umgebungen.

5. Technologien für die SPE-Systemarchitektur

Energiekonzepte für das SPE-Ökosystem

Power over Datalines (PoDL) für SPE, wie in diesem Dokument beschrieben, ist in den Standards IEEE 802.3cg und IEEE 802.3bu normiert.

Der Standard IEEE802.3bu definiert PoDL für 100BASE-T1 und 1000BASE-T1 Ethernet, während IEEE802.3cg die Unterstützung für 10BASE-T1L hinzufügt.

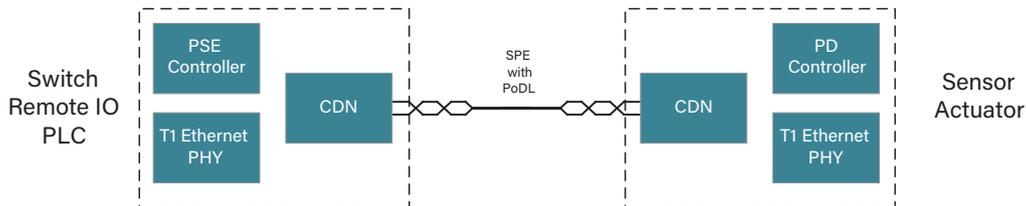


Abbildung 15: Vereinfachtes PoDL System

Abbildung 15 zeigt ein typisches PoDL-System, das aus einer Stromversorgungseinrichtung (PSE) und einem gespeisten Gerät (PD) besteht. Das PSE ist typischerweise Teil eines Switches, einer Remote-IO, einer SPS oder eines Medienkonverters. Es kann aber auch ein Mid-Span-Gerät ohne Ethernet PHY sein. Alle diese Geräte bestehen in der Regel aus einem PSE-Controller, einer SPE-PHY und einem Kopplungsnetzwerk (CDN), das Strom und Daten auf einer einzigen Twisted-Pair-Leitung vereint. Am anderen Ende der Leitung ist ein PD, wie ein Sensor oder Aktor, angeschlossen. Hier trennt ein Kopplungsnetzwerk Strom und Daten. Der Strompfad wird an einen PD-Controller weitergeleitet, der das Handshaking übernimmt und Strom für die nächste Stufe der Stromversorgung bereitstellt. Der Datenpfad ist mit einem Ethernet PHY verbunden.

Power over Dataline (PoDL)

Die IEEE-Standards 802.3bu und 802.3cg beschreiben diesen Prozess und definieren Power-Klassen sowie Gerätetypen zur Kodierung der Datenkompatibilität. Die Power-Klassen sind in den untenstehenden Tabellen aufgeführt.

Class	12-V-Unregulated PSE		12-V Regulated PSE		24-V-Unregulated PSE		24-V-Regulated PSE		48-V-Regulated PSE	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V_{PSE(max)}$ (V)	18	18	18	18	36	36	36	36	60	60
$V_{PSE,OC(min)}$ (V)	6	6	14.4	14.4	12	12	26	26	48	48
$V_{PSE(min)}$ (V)	5.6	5.77	14.4	14.4	11.7	11.7	26	26	48	48
$I_{P(max)}$ (mA)	101	227	249	471	97	339	215	461	735	1360
$P_{Class(min)}$ (W)	0.566	1.31	3.59	6.79	1.14	3.97	5.59	12	35.3	65.3
$V_{PD(min)}$ (V)	4.94	4.41	12	10.6	10.3	8.86	23.3	21.7	40.8	36.7
$P_{PD(max)}$ (W)	0.5	1	3	5	1	3	5	10	30	50

Tabelle 5: Power Klassen definiert in der IEEE 802.3bu

Class	10	11	12	13	14	15
$V_{PSE(max)}$ (V)	30	30	30	58	58	58
$V_{PSE,OC(min)}$ (V)	20	20	20	50	50	50
$V_{PSE(min)}$ (V)	20	20	20	50	50	50
$I_{P(max)}$ (mA)	92	240	632	231	600	1579
$P_{Class(min)}$ (W)	1.85	4.8	12.63	11.54	30	79
$V_{PD(min)}$ (V)	14	14	14	35	35	35
$P_{PD(max)}$ (W)	1.23	3.2	8.4	7.7	20	52

Tabelle 6: Power Klassenerweiterung definiert in der IEEE 802.3cg



Das Verständnis des vollständigen Verfahrens zur Implementierung eines PoDL-Systems ist entscheidend. Ähnlich wie beim Standard-Ethernet PoE erfordert der Standard eine Detektions- und Klassifizierungsphase. Während der Detektion prüft das Power Sourcing Equipment (PSE), ob ein kompatibles Powered Device (PD) angeschlossen ist. Ist dies der Fall, geht es weiter zur Klassifizierung, bei der das PSE die unterstützten Leistungsklassen des PD ausließt. Unterstützen PSE und PD die gleichen Klassen, wird die Spannungsversorgung eingeschaltet.

Obwohl die Schritte ähnlich wie bei Standard-Ethernet-PoE sind, werden sie auf eine andere Weise implementiert. Für die Erkennung muss ein PoE-PSE einen Widerstand auf der PD-Seite erfassen. Ein PoDL-PSE muss eine Zener-Diode auf dem PD erkennen. Dazu liefert das PSE einen konstanten Strom auf der Leitung und misst die Spannung. Die Zenerdiode begrenzt diese Spannung. Sofern die Spannung in einem bestimmten Bereich liegt, wertet das PSE dies als gültige Voraussetzung für die Erkennung.

Auch der Klassifizierungsprozess unterscheidet sich. Während PoE eine konstante Spannung vom PSE und eine Stromsenke am PD verwendet, um die Leistungsklasse zu signalisieren, implementiert PoDL eine einfache digitale Ein-Draht-Kommunikation, das Serial Communication Classification Protocol (SCCP).

In einem PoDL-System sind sowohl die Detektion als auch die Klassifizierung nicht immer erforderlich. Durch ein Schnell-Start-System kann entweder auf die Klassifizierung oder auf die Detektion verzichtet werden. Wird die Klassifizierung übersprungen und nur der Detektionsmechanismus implementiert, kann deutlich Zeit beim Starten eingespart werden. Alternativ kann die Detektion übersprungen werden, wodurch die Klassifizierung erforderlich wird. Ein System das sowohl auf Detektion als auch auf die Klassifizierung verzichtet ist gemäß dem PoDL-Standard nicht zulässig.

Engineered PoDL

Engineered PoDL ist ein System ohne Detektion und Klassifizierung. Es vereinfacht das Systemdesign und reduziert Kosten sowie Platinengröße. Lediglich das CDN und der PHY bleiben unverändert, während der PSE- und PD-Controller deutlich vereinfacht werden können.

Empfohlene Sicherheitsmaßnahmen:

- PSE: Strombegrenzung zur Absicherung bei Kurzschlüssen.
- PD: Schutz vor Verpolung und Überspannung.

Einsatzgebiete:

- Advanced Physical Layer (APL) ist eine bekannte Implementierung.
- Geeignet für Systeme, bei denen der Hersteller beide Seiten kontrolliert, wie z. B. in der Automobilindustrie mit geschlossenen Netzwerken.

Nachteil:

- Der Installateur muss sicherstellen, dass die Komponenten kompatibel sind, um Beschädigungen zu vermeiden.

2-WISE Stromversorgung für Ethernet-APL

Die Hauptleitung (Trunk) ermöglicht Kabellängen von bis zu 1000 Metern für explosionsgefährdete Bereiche der Zone 1, während die Stichleitung (Spur) Kabellängen von bis zu 200 Metern in die Zone 0 ermöglicht.

Die Stromversorgung von 2-WISE begrenzt die Stromzufuhr zu Geräten in Ex-Bereichen und unterstützt unterschiedliche Leistungsstufen für die Hauptleitung (Trunk) und Stichleitung (Spur). Dies minimiert Funkenbildung bei Stromkreisunterbrechung und schützt den Ex-Bereich.



Maximale Ausgangsleistung:

- Ex-Zone 2 & 1 (Trunk), nicht eigensicher („non-intrinsically safe rated“):
Leistungsklasse 3: 57,5 W
Leistungsklasse 4: 92 W
- Ex-Zone 0 (Spur), eigensicher („intrinsically safe rated“):
Leistungsklasse A: 0,54 W
Leistungsklasse C: 1,1 W

Maximale Nutzleistung (“Load power“):

- Ex-Zone 2 & 1 (Trunk):
Leistungsklasse 3: 36 W
Leistungsklasse 4: 57,6 W
- Ex-Zone 0 (Spur):
Leistungsklasse A: 0,5 W
Leistungsklasse C: 1,0 W

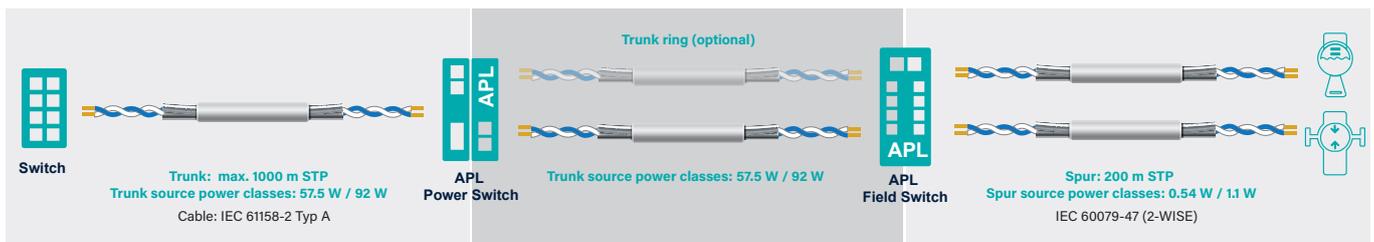


Abbildung 16: 2-WISE APL Aufbau

SPE-Hardwareanforderungen

Beim Entwurf eines industriellen SPE-Ethernet-Geräts müssen mehrere Hardwareaspekte berücksichtigt werden, um ein funktionierendes System zu gewährleisten. Dies umfasst die Verwendung eines MACs und PHYs, die Teil der unteren beiden Schichten des OSI-Kommunikationsmodells sind (siehe Abbildung 17).

7	Application
6	Presentation
5	Session
4	Transport
3	Network
2	Data link
1	Physical

Abbildung 17: OSI Kommunikationsmodell mit allen Schichten

Dafür ist es erforderlich zu beachten, wie ein Prozessor in den Data Link- und physical Layer eingebunden werden kann. Wichtige Komponenten wie Steckverbinder, Kabel und Kopplungsnetzwerke müssen ausgewählt werden, ebenso Aspekte wie Echtzeitfähigkeit und Determinismus des Systems. Diese Entscheidungen haben einen direkten Einfluss auf die Systemleistung, insbesondere in anspruchsvollen Industrieumgebungen, und sorgen dafür, dass das System seinen vorgesehenen Einsatzzweck zuverlässig erfüllt.

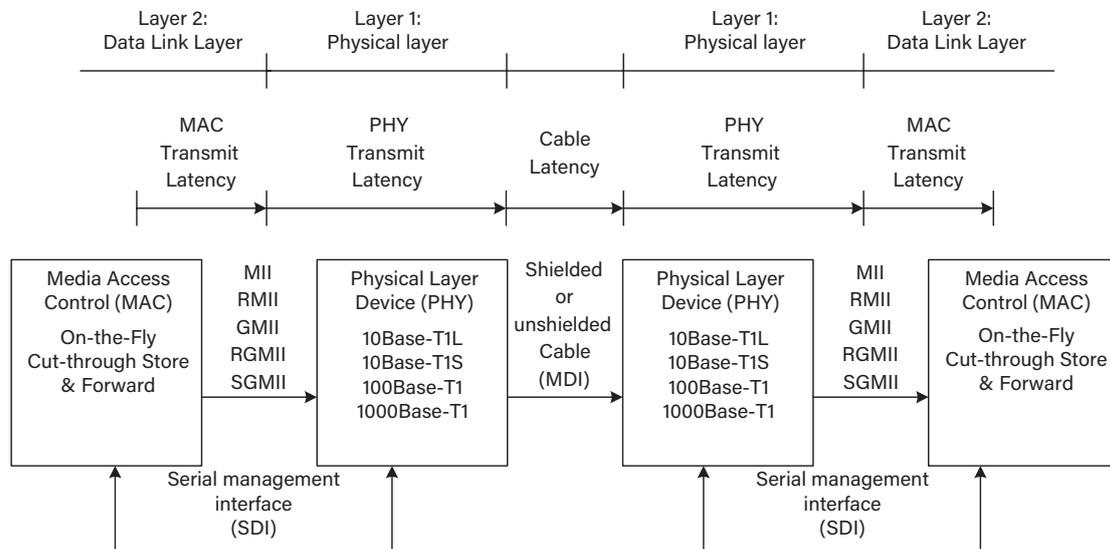


Abbildung 18: Darstellung der zu berücksichtigenden Ethernet-Verbindungen und -Schnittstellen sowie einiger wichtiger Latenzparameter der einzelnen Schichten

1. MAC-zu-PHY-Verbindung:

Das MII (Media Independent Interface) nutzt unsymmetrisches 50-Ohm Leiterbahnen auf der Platine, sowohl für den TX- als auch den RX-Pfad. Für beste Funktion und aus EMV Gründen, muss die Länge und Impedanz abgestimmt werden.

2. MDI-Verbindung:

Diese definiert den Kabeltyp, den Steckverbinder und das Kopplungsnetzwerk. Die MDI (Media Depended Interface) Leitungen müssen symmetrisch gelayoutet sein, mit gleicher Länge und 100 Ohm Impedanz für optimale Leistung. Das Koppelnetzwerk stellt eine Common-Mode-Terminierung (siehe Abbildung 19 und 20) an den gewählten Kabeltyp dar und muss die Impedanz zwischen MDI Schnittstelle und Kabel anpassen. Üblicherweise haben sowohl Kabel, als auch die MDI-Schnittstelle des PHYs 100 Ohm.

3. SMI (Serial Management Interface) Schnittstelle:

Diese Schnittstelle ermöglicht den Zugriff auf die internen Register des PHYs und bietet zusätzliche Funktionen wie Echtzeit-Diagnosetools (z.B. Signal Quality Indication, SQI) zur Überwachung der Kabel- und Steckverbindungsqualität.

Das Verständnis der wesentlichen Kommunikationsschnittstellenparameter, wie in Abbildung 18 gezeigt, ist entscheidend für die Entwicklung der besten Systemlösung für Ihre Anwendung. Drei wichtige Punkte sind:

- Richtige Auswahl der PHY passend zur geforderten Kabellänge
- Datenrate und/oder Zykluszeit für Echtzeitkommunikation
- EMV-Anforderungen

Abhängig von der Kabellänge muss ein spezifischer Kabeltyp gewählt werden, um die richtige Common-Mode-Terminierung sicherzustellen. Die Ethernet-Spezifikationen setzt typischerweise 100-Ohm-Kabel voraus. Um dabei die Funktionalität über die maximale Kabelreichweite zu gewährleisten, ist es notwendig die Common-Mode-Terminierung anzupassen.

Mit steigenden Datenanforderungen muss die Bandbreite/Datenrate des Systems so analysiert werden, dass sie den Kommunikationsanforderungen entspricht. Entwickler sollten überprüfen, ob die gewählte Datenrate mit der Kabellänge kompatibel ist oder ob Ethernet-Repeater oder andere Verlängerungslösungen erforderlich sind.



EMV-Anforderungen: Die Einhaltung der Normen IEC61000-4-x und CISPR-xx muss berücksichtigt werden.

Die Wahl zwischen kapazitiver und galvanischer Kopplung spielt eine entscheidende Rolle bei der Störfestigkeit. In Industrieumgebungen wird in der Regel die galvanische Kopplung (Abbildung 20) bevorzugt, da sie eine bessere Störfestigkeit bietet.

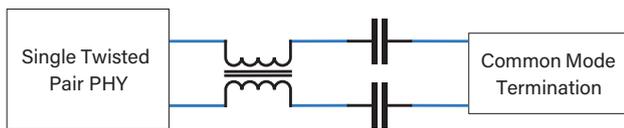


Abbildung 19: Vereinfachtes kapazitives Kopplungsnetzwerk

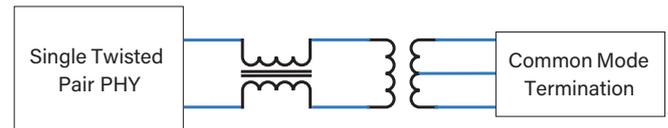


Abbildung 20: Vereinfachtes galvanisches Kopplungsnetzwerk

Abbildung 19 (kapazitiv) und Abbildung 20 (galvanisch) zeigen vereinfachte Implementierungen. Die galvanische Kopplung bietet eine bessere Störfestigkeit, und die Platzierung des Common-Mode-Filters ist entscheidend für die optimale Systemleistung.

Software-Sicherheit und -Zuverlässigkeit

Ethernet bietet robuste, klar definierte Sicherheitsmechanismen, die sich für den Einsatz zum Datenaustausch in kritischen Infrastrukturen bewährt haben. Diese Mechanismen sind ausgereift, weit verbreitet und profitieren von schnellen Updates bei entdeckten Schwachstellen. Eine rein auf Ethernet basierende Architektur nutzt dieses etablierte Sicherheitsframework und erweitert bewährte IT-Protokolle durchgängig bis an die Schnittstelle von digitalen und physischen Systemen.

Im Gegensatz zu älteren Technologien ohne integrierte Sicherheitsfunktionen entfällt bei Ethernet die Entwicklung von Protokollen von Grund auf. Standardisierte Hardwarelösungen unterstützen die sichere Bereitstellung von vertraulichen Daten wie Schlüsseln und Zertifikaten. Zudem vereinfachen Ethernet-kompatible, manipulationssichere Halbleiter die Protokollausführung und beschleunigen sie.

Durch den Einsatz der integrierten Sicherheitsfunktionen von Ethernet können Hersteller neue Anforderungen an die Cyber-Resilienz effizient erfüllen – auch ohne eigene Sicherheitsexperten.

Funktionale Sicherheit

Funktionale Sicherheit ist entscheidend für industrielle Systeme, da sie vorhersehbare Ausfallmodi sicherstellt und katastrophale Folgen bei Fehlern vermeidet. SPE stammt aus der Automobilbranche, wo funktionale Sicherheit von Beginn an im Design berücksichtigt wird. SPE-Halbleiter bieten normalerweise Sicherheitsdokumentationen, die für die Entwicklung funktional sicherer Systeme erforderlich sind.

Jede Branche hat eigene funktionale Sicherheitsstandards, die jedoch auf ähnlichen Prinzipien basieren:

IEC 61508	Basisstandard für viele Industrien	IEC 61513	Kraftwerke
ISO 26262	Automobilindustrie	IEC 62061	Maschinenbau
IEC 62279	Bahntechnik	IEC 62304	Medizintechnik
IEC 61511	Prozessindustrie	IEC 60880	Nukleartechnik

Der flächendeckende Einsatz von Ethernet erleichtert die Anlagenzertifizierung, da im gesamten OT-System einheitliche Dokumentationen und Mechanismen genutzt werden können, ohne unterschiedliche Kommunikationswege für verschiedene Funktionen zu benötigen. Auch die Software in funktional sicheren Systemen profitiert von einem konsistenten Kommunikationsprozess, der die Einhaltung sicherheitsrelevanter Anforderungen unterstützt.



SPE in datenzentrierten Architekturen

Datenzentrierte Architekturen sind entscheidend für einen optimierten Datenaustausch, bei dem Anwendungen Daten direkt und gemäß klar definierter Regeln teilen. Der Fokus liegt auf einer schnellen, präzisen und zuverlässigen Datenübertragung, was Skalierbarkeit und Sicherheit verbessert. Systemkomponenten aus Hard- und Software gewährleisten, dass Daten effizient an den richtigen Ort gelangen – unterstützt durch durchgängige Kommunikation über etablierte Protokolle wie TCP/IP oder UDP. SPE ermöglicht diese optimierten Datenflüsse und schafft durch Data Centering eine klare Trennung zwischen physischer Infrastruktur und funktionalen Architekturelementen.

6. Herausforderungen

Digitaler Wandel

Digitale Technologien haben sich rasanter entwickelt als jede andere Innovation in der Geschichte und erreichen heute rund 50% der Bevölkerung in Schwellenländern. Sie verändern Gesellschaften grundlegend und fördern sowohl wirtschaftliche als auch soziale Entwicklungen, indem sie Vernetzung und Zugang zu Dienstleistungen erleichtern.

Der erwartete Übergang von Feldbussen zu IP-basierter Technologie wird diesen Fortschritt weiter vorantreiben. Doch wie bei allen großen technologischen Umbrüchen fühlen sich Menschen, Unternehmen und Organisationen oft überfordert, da die Auswirkungen nicht immer klar sind.

In der Praxis eröffnet die Digitalisierung neue Möglichkeiten für Unternehmen und Unternehmer, bisher unzugängliche Kunden und Märkte zu erreichen. Um von erweiterter Konnektivität und den damit verbundenen Geschäftsvorteilen zu profitieren, ist eine gezielte Weiterentwicklung der Fähigkeiten aller Betroffenen unerlässlich.

Demografischer Wandel

Ethernet-basierte Systeme erfordern geringeren Schulungsaufwand im Vergleich zu feldbuspezifischen Technologien und reduzieren somit Kosten – beispielsweise bei der Datenbeschaffung, Protokollkonvertierung oder Wartungsaufgaben.

Die Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Diagnosefähigkeit und Interoperabilität stehen dabei im Fokus.

Der Fachkräftemangel in der Industrie zeigt sich besonders bei der Suche nach Mitarbeitern, die Kontakt- und Stromlaufpläne lesen und bestehende Infrastrukturprobleme beheben können. SPE erleichtert den Zugang zu geeigneten Fachkräften, da Ethernet-Technologien bereits weit verbreitet und vertraut sind. Diese Vorteile gelten ebenso für die Wartung, den Austausch und die Erweiterung von Systemen.

SPE bietet zudem einen umfangreicheren Dienstleistungsumfang als herkömmliche Feldbusnetzwerke. Kenntnisse zu IP-Adressen, deren Konfiguration und Fehlersuche sind breiter verfügbar oder leichter erlernbar als bei traditionellen Kommunikationstechnologien.

Staatliche Auflagen und Berichterstattung

Die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) ist eine neue EU-Verordnung, die die Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen verändert. Sie erweitert die vorherige Non-Financial Reporting Directive und schließt Lücken in den Berichtspflichten.

Die CSRD macht Unternehmen für ihre größten ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen verantwortlich. Nachhaltigkeitsberichte helfen Unternehmen, bessere Entscheidungen zu treffen und umweltfreundlichere Produkte herzustellen. Dies erfordert die permanente Verfügbarkeit von Daten in allen betrieblichen Prozessen.



Digitale Informationen darüber, wie Produkte hergestellt werden, unterstützen Unternehmen dabei, die Anforderungen der CSRD zu erfüllen. SPE hilft dabei, diese Daten zu sammeln und die Nachhaltigkeitsberichterstattung zu ermöglichen.

7. Zusammenfassung und Handlungsempfehlung

Zusammenfassung

SPE bietet eine kompakte, kosteneffiziente und leichte Verkabelung mit Datenraten von bis zu 1 GBit/s (40 m) und Leitungslängen bis 1000 Meter (10 MBit/s). Es reduziert Gateways, vereinfacht Installationen und ermöglicht durchgängige Kommunikation mit Standard-Ethernet-Protokollen – von der Cloud bis zum Sensor/Aktor im Feld. Dies optimiert die komplexe Datenbereitstellung und überträgt gleichzeitig Energie über Power over Data Line (PoDL). SPE bietet ausgereifte Sicherheitsfunktionen, ist standardisiert, skalierbar, interoperabel und ideal für IoT- und Industrie-4.0-Anwendungen. Bereits verfügbare Produkte machen SPE einsatzbereit, selbst für zeitkritische Anwendungen.

SPE wird zunehmend zum Standard und wird dabei traditionelle Bussysteme wie CAN ersetzen. Es spielt eine Schlüsselrolle in Industrie, IoT und Smart Buildings, da es einfache Konnektivität für Sensoren und Aktoren bietet. Bis 2030 wird ein Anstieg auf geschätzte 50 Millionen installierte Knotenpunkte in der Fabrikautomation und 12 Millionen in Gebäuden erwartet. Leistungs- und Reichweitenverbesserungen werden die Akzeptanz weiter steigern.

Handlungsempfehlung

Der richtige Zeitpunkt für den Einstieg in SPE ist jetzt. Unternehmen sollten erste Tests durchführen, Know-how aufbauen und auf standardkonforme Geräte setzen. Pilotprojekte und strategische Planungen mit SPE-basierten Netzwerken sichern langfristig Wettbewerbsvorteile und Zukunftsfähigkeit.



Single Pair Ethernet
System Alliance

Die Technologie der Zukunft Gemeinsam vorantreiben

Die Single Pair Ethernet System Alliance ist ein offener Verbund führender Technologieunternehmen und wissenschaftlicher Einrichtungen aus verschiedenen Branchen und Anwendungsbereichen. Hersteller von Sensoren, Kabeln, Steckverbindern, Messgeräten, Halbleitern, Switches und Endgeräten arbeiten gemeinsam daran, SPE-Lösungen für ein breites Spektrum von Anwendungen zu etablieren.



Jetzt Mitglied werden

Single Pair Ethernet System Alliance e.V.
De-Saint-Exupéry-Strasse 10
60549 Frankfurt am Main
info@singlepairethernet.com

www.singlepairethernet.com

01/2025