



Pushing Performance

# Single Pair Ethernet

## Die Infrastruktur für IIoT

---

**BE SMART.  
ENABLE IIOT.**

People | Power | Partnership



Pushing Performance

# CONTENT

01

Die Flucht von der Automation Island

02

Ein Paar ist genug

03

Alle Normen vereint

04

Tief in die Technik

05

Starke Partner

06

Fazit - Ausblick

# 1.

## Die Flucht von der Automation Island



Pushing Performance

IoT, das Internet of Things beschreibt die Vernetzung virtueller und echter physischer Gegenstände um sie mittels Informations- und Kommunikationstechniken miteinander arbeiten zu lassen. Gegenstände des täglichen Lebens erhalten digitale Fähigkeiten und werden so zu einem realen physischen Gegenstand, der auch Teilnehmer digitaler Netzwerke wird. Dieser Prozess findet auch in industriellen Anwendungen statt und ist hier als Industrial Internet of Things (IIoT) bekannt.

In der Industrie werden ebenfalls immer mehr Komponenten zu smarten, intelligenten Teilnehmern. Sie beschränken sich dabei aber nicht mehr zu wie ehemals auf unternehmensinterne Netzwerke, sondern werden ebenfalls ein Teil des Internets. Diese vermehrte Erhebung, Auswertung und Nutzung von Daten schafft den Bedarf an immer leistungsfähigerer Infrastruktur, die gleichzeitig immer kleiner und ressourcenschonender werden muss. Effizienz ist hier das Stichwort, wenn immer mehr Sensoren mit steigendem Bandbreitenbedarf Netzwerkteilnehmer werden. Es braucht neue Technologien.

In der Automatisierung sprach man lange von Automation Island, da eine ganze Reihe eigenständiger und proprietärer aber noch analoger Netzwerke die Feldebene beherrschen. Dieser klassische Systembruch von Ethernet/Internet zu analogen Feldbus-Systemen soll nun seinerseits aufgebrochen und eliminiert werden. Das Ziel: Ethernet von der Cloud bis an jeden Sensor. Jeder Sensor wird smart, ist individuell auswertbar und damit ein essenzielles Stück auf dem Weg zum IIoT. Was noch fehlt, ist die passende Infrastruktur. Derzeitige Netzwerke beruhen auf 2- bzw. 4-paarigen Kabeln und Steckverbindern. Diese bekannte Infrastruktur ist jedoch zu groß und zu teuer, wenn man sich vorstellt, welche schierere Anzahl an Sensoren und Aktoren im Feld anzubinden sind. BUS Leitungen sind nicht ohne Grund platzsparend und günstig ausgelegt.

### Die Lösung heißt Single Pair Ethernet

Die Lösung für eine leistungsfähige Ethernet Infrastruktur geht nur noch über ein Paar verdillter Kupferadern:

### Single Pair Ethernet – Die Infrastruktur für IIoT



*„SPE lässt IT und Automation Hand in Hand gehen.“*

# 2.

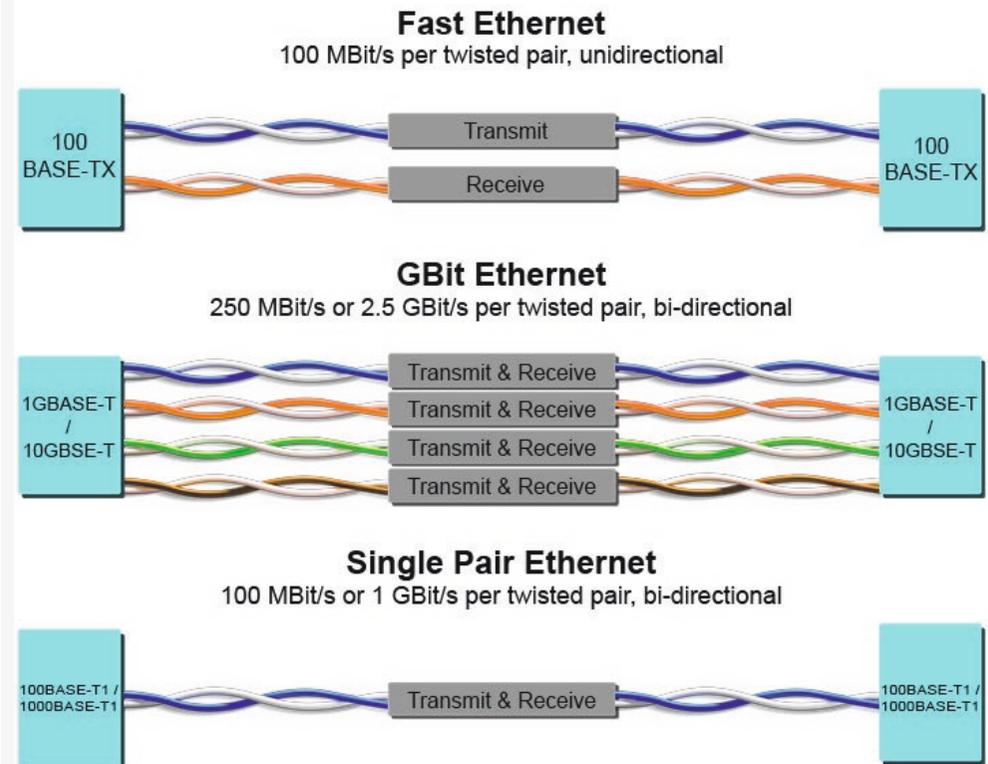
## Ein Paar ist genug - SPE macht die Feldebene smart

Von der Cloud bis an den Sensor ist ein Claim, den man in den letzten Jahren vermehrt im Automatisierungsumfeld gehört hat. In der Regel fiel er im Zusammenhang mit Megatrends wie IIoT und I4.0. Gemeint ist die durchgehende TCP/IP basierte Kommunikation auf Ethernet-Basis, die gegenwärtig meist von Cloudanwendungen bis „hinunter“ in die Verteilebene einer Produktion reicht. Wo bisher ein klassischer Bruch von Kommunikationssystemen aus Ethernet und BUS Systemen bestand, bringen nun neue Komponenten schnelles Ethernet bis zu 1 GBit/s über nur noch ein verdrehtes Aderpaar bis an die kleinste Applikation. SPE ermöglicht so erstmals den durchgängigen Einsatz des TCP/IP Protokolls. Und das treibt die Entwicklung neuer Geräte und Anwendungsfelder gerade in Sensor/Aktornetzwerken voran. Der Sensor wird „intelligent“, Teil des Gesamtnetzwerkes und reduziert die Zeiten für Parametrierung, Initialisierung und Programmierung. Ob einfacher Zustandssensor oder modernes Vision System aus hochauflösender Kamera, mit SPE wird das Internet der Dinge Realität - die Feldebene wird smart.

### Die Wurzeln

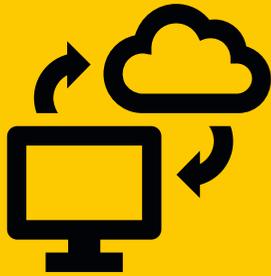
Nachdem die Automobilindustrie auf der Suche nach einem Nachfolger für den CAN-Bus dieses neue TCP/IP basierte Übertragungsverfahren identifiziert hatte, wurde der erste SPE-Standard von der IEEE 802.3 als Standard 100BASE-T1 in IEEE 802.3bw-2015 Clause 96 veröffentlicht. Pilotiertes bzw. teilautonomes Fahren erfordert jedoch noch höhere Datenraten und so folgte nach dem ersten SPE Standard für 100Mbit/s recht schnell auch die Gigabitversion. Die heute bereits zur Verfügung stehende Ethernet Technologie nach IEEE 802.3bp 1000BASE-T1 liefert 1Gbit/s Übertragungsgeschwindigkeit über nur ein Aderpaar Kupferverkabelung. Aktuell wird bei IEEE an einem weiteren Standard für noch höhere Datenraten bis 10Gbit/s (IEEE 802.3ch) gearbeitet, der für hochauflösen-

## MPE VS. SPE



MPE steht für Multi Pair Ethernet über zwei oder vier Aderpaare

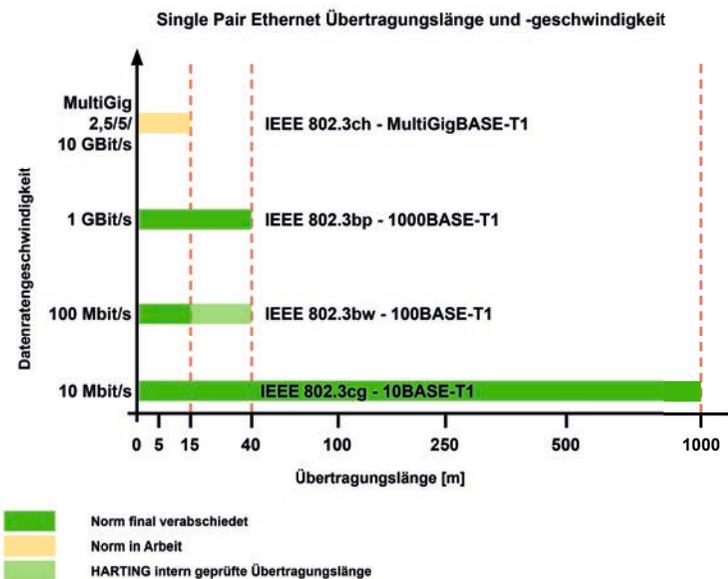
# „In Unternehmen ist das Interesse am Internet of Things (IoT) aktuell enorm.“



de Sensoren und Videoübertragungen benötigt wird. Im Februar 2020 wurde ein Standard für nur 10Mbit/s (IEEE 802.3cg) veröffentlicht. Dieser Standard hat auch für viele Bereiche der Industrie besondere Relevanz, da er Übertragungsstrecken bis 1.000 Meter erlaubt und damit nahezu alle Feldbusse ersetzen kann. Darüber hinaus wurde im März 2019 auch eine weitere Arbeitsgruppe ins Leben gerufen, die sich mit Übertragungsraten oberhalb von 10Gbit/s beschäftigt. Hier wurden 25 Gbit/s und 50Gb it/s als Ziel ins Auge gefasst. Diese hohen Datenraten sind die Basistechnologie für autonomes Fahren und neue zonale Rechnerarchitekturen im Fahrzeug. SPE ist die ideale Technik dafür.

Die Industrie (Produktion, Automatisierung) mit ihren Forderungen nach Integrated Industrie, also der Einbindung der Feldebene (Sensor-/Aktornetze) bis hinunter zum Werkzeug und Werkstück in die automatisierte Produktion, hat ein ähnliches Problem, wie die Autoindustrie. Sie benötigt eine Netzwerkphilosophie, die durchgängig einzusetzen und gleichzeitig zukunftssicher ist. Also weg von proprietären Lösungen hin zu IT-Lösungen - allerdings mit Verfügbarkeits- und Sicherheitsstandards wie in der Industrie üblich. Auch hier ist SPE die geeignete Technik.

## Industry Automation hat das Potenzial erkannt



Grafische Darstellung von Reichweite und Übertragungsgeschwindigkeit für die aktuellen IEEE 802.3 SPE Standards

SPE – neue Verkabelung oder bestehende Strukturen nutzen?

SPE bietet zahlreiche Vorteile:

- Durchgängige TCP/IP Kommunikation als Alternative zu proprietären Bus- oder Strominterfaces
- Hohe Sicherheit und 100% Verfügbarkeit
- Immense Reichweite von einigen Metern bis zu mehr als 1000m
- Geringer Platzbedarf für Kabel und Verteiler
- Einfache Installation
- Die gleichzeitige Stromversorgung für Endgeräte und Sensoren mit Power over Data Line (PoDL)
- Akkus und Batterien werden eingespart, was umwelttechnisch ein wichtiger Schritt ist
- Senkt Kosten bei gleichzeitiger Steigerung der Betriebssicherheit

Somit ist SPE eine Technik, die die Restriktionen kabelgebundener Kommunikation weitgehend aufhebt bzw. Nachteile des Kabels gegenüber anderen Techniken wie wireless wettmacht – immer bezogen auf die hier betrachteten Anwendungsfelder. Kurz gesagt: SPE rückt die Vorteile von Kupfer gegenüber Glasfaser als Übertragungsmedium in ein neues Licht und auch wireless Kommunikation bekommt hier nochmals Konkurrenz.



Pushing Performance

## Im Überblick: Vorteile von SPE



OFFENES KOMMUNIKATIONS-  
PROTOKOLL



ENABLER FÜR IIOT



ECHTZEIT-KOMMUNIKATION MIT TSN



BIS ZU 10 GBIT/S FÜR  
AUTOMATISIERUNGSNETZWERKE



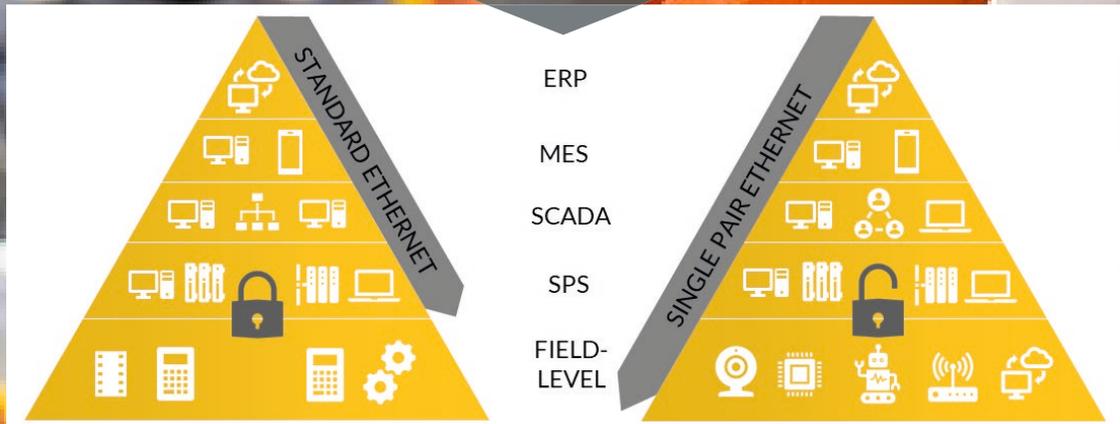
FERNSPEISUNG PER PODL - POWER  
OVER DATA LINE



STANDARDISIERTE SCHNITTSTELLE  
FÜR PLANUNGSSICHERHEIT

## Einsatzfelder

In Industrieanwendungen ist Ethernet von der Unternehmenszentrale bis in die Steuerungsebene durchgängig vertreten. Ab hier kommen aktuell meist Übersetzer und Gateways zum Einsatz, die die Verbindung an Feldbus-Systeme herstellen. Da jedoch auch in der Feldebene immer anspruchsvollere und leistungsfähigere Sensoren und Aktoren ihren Platz finden, ist der Bedarf für Ethernet in der Feldebene klar gegeben. Über SPE kann die Vielzahl an Feldteilnehmern platzsparend und kostengünstig mit Ethernet versorgt werden. Das macht Übersetzer und Gateways obsolet und macht jeden Sensor IP adressierbar und mit TSN auch deterministisch. Im Klartext heißt das: MPE bis an die Feldebene und dann durchgängig mit Ethernet bis direkt in die Feldebene. Der Claim „Vom Sensor bis in die Cloud“ wird mit SPE Realität, und HARTING-Komponenten die Infrastruktur für I4.0 und IIoT.





Pushing Performance



**„Bis zu 50W am Endgerät.“**



### Power over Data Line - PoDL

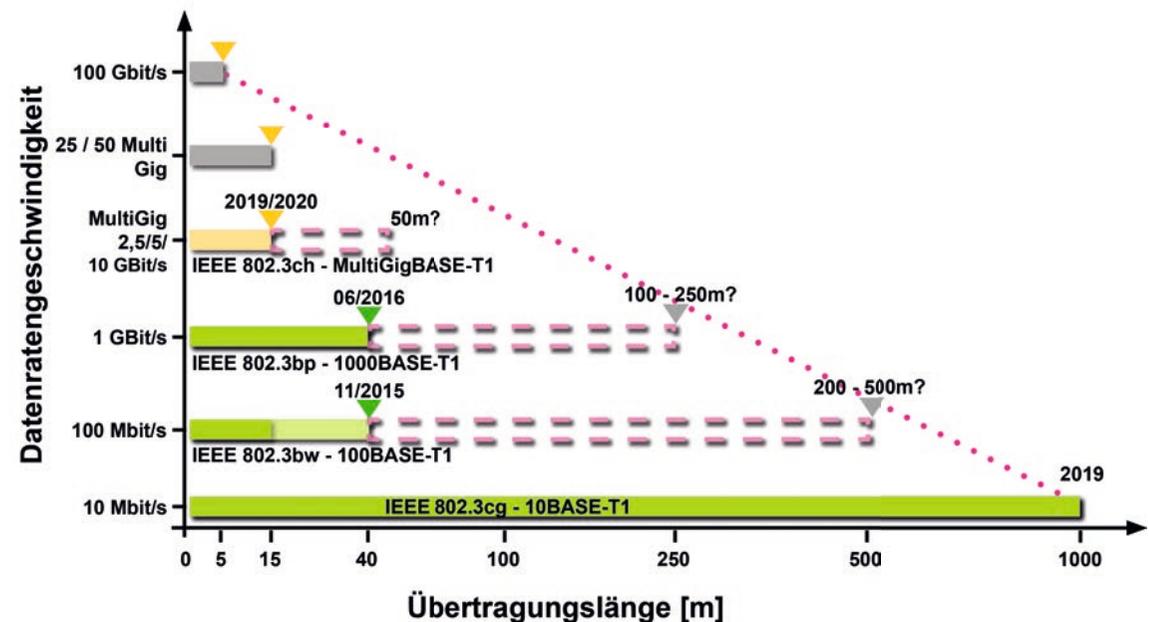
Wie auch bei den mehrpaarigen Verkabelungen gibt es analog zu Power over Ethernet (PoE) auch für SPE einen neuen Standard zur Fernspeisung, genannt PoDL = Power over Data Line (IEEE 802.3bu). Diese Kombination von Daten und Energie/Power mittels sehr kleiner Steckverbinder-technik und einpaariger Kabel unterstützt die Trends in Miniaturisierung, höherer Datenraten und Modularisierung für komplexere Anlagen – alles Voraussetzungen zur schnellen Entwicklung eines Marktes für SPE Anwendungen auch außerhalb von Fahrzeugen in der Industrie, Smart Cities und Buildings sowie vielen weiteren Anwendungen.

### Ethernet über Kupfer über 1000 Meter? Ja! Mit SPE.

Damit hat die SPE Technologie innerhalb einer sehr kurzen Zeitspanne bereits die gleiche Leistungsfähigkeit wie das heute vorherrschende „Mehrpaarige Ethernet“ (MPE) erreicht. Die einzige Einschränkung ist die derzeit eingeschränkte Reichweite für 100Mbit/s und Gigabit SPE (15 m bzw. 40 m), die aus den Anforderungen der Hauptzielgruppe in der Automotive Industrie resultiert.

Die Expertenmeinungen gehen davon aus, dass hier auch größere Übertragungslängen erreichbar sind. In der nebenstehenden Grafik wird aufgezeigt, welche erweiterten Übertragungslängen technisch möglich sind. Damit diese Erweiterungen der SPE Standards bei IEEE802.3 in Angriff genommen werden und insbesondere die Halbleiterindustrie in die Entwicklung dieser neuen Chipsätze investiert, bedarf es jedoch der Definition der hierfür geeigneten neuen Anwendungen und Marktpotentiale. Hierzu ist eine offene Zusammenarbeit aller Interessenten für die erweiterten SPE Reichweiten notwendig. Die ersten Präsentationen bei IEEE802.3 dazu sind bereits publiziert und wurden wohlwollend aufgenommen. Weitere Mitstreiter für diese Normenprojekte sind hoch willkommen.

### Single Pair Ethernet Übertragungslänge und -geschwindigkeit



# 3.

## T1 Industrial Style: Alle Normen hinter sich vereint



Pushing Performance

Bis sich die SPE-Infrastruktur und das damit verbundene Potenzial in der Fläche durchgesetzt hat, ist es noch ein weiter Weg. Aktuell sind am Markt mehrere Lösungen und verschiedene Normen im Gespräch, die besonders die Schnittstellen für SPE im Blick haben. Anwender fragen nun zu Recht, ob Hersteller eine durchgängige und kompatible Lösung auf Grundlage eines einheitlichen Standards entwickeln, oder ob es mehrere Lösungen und inkompatible Steckgesichter geben wird. Dazu muss man sich etwas genauer die Zusammenarbeit verschiedener, für die Ethernet-Kommunikation relevanter Normengremien ansehen.

### ISO/IEC SC25 WG3

Eine zentrale Rolle bei der Normierung nimmt ISO/IEC JTC 1/SC 25/WG 3 ein. Hier werden die Verkabelungsnormen nach der ISO/IEC 11801 erstellt und gepflegt.

### IEC SC46C

Komitee für Verkabelungskomponenten:  
Kupferdatenkabel

### IEC SC48B

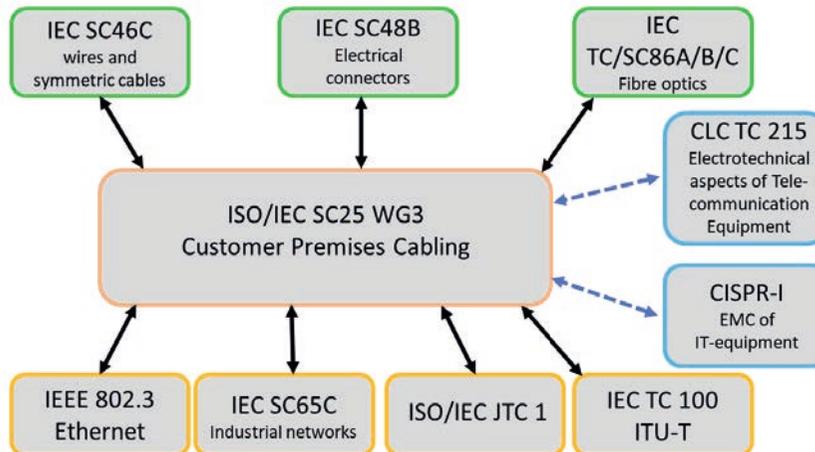
Komitee für Verkabelungskomponenten:  
Steckverbinder

### IEEE 802.3

Kabelgebundene Ethernet Protokoll-Standards



### Komponentenkomitees



### IEC 61156-x - Normung von Single Pair Ethernet Kabeln

Innerhalb der IEC Arbeitsgruppe SC46C für die Normierung von Datenkabel als Meterware sind folgende Normenprojekte derzeit in Arbeit:

- IEC 61156-11 – SPE Datenkabel bis 600 MHz Bandbreite zur festen Verlegung (final veröffentlicht)
- IEC 61156-12 – SPE Datenkabel bis 600 MHz Bandbreite zur flexiblen Verlegung (CD verfügbar)
- IEC 61156-13 – SPE Datenkabel bis 20 MHz Bandbreite zur festen Verlegung (CD verfügbar)
- IEC 61156-14 – SPE Datenkabel bis 20 MHz Bandbreite zur flexiblen Verlegung (geplant)

Weitere Normenprojekte, beispielsweise für höhere Bandbreiten zur Unterstützung von Datenraten oberhalb von 1 Gbit/s, werden zukünftig ebenso bearbeitet.

## IEC 63171-6 Normung von Single Pair Ethernet Verbindungstechnik

Der erste SPE Steckverbindernormenentwurf wurde bereits 2016 von HARTING bei SC48B eingereicht und als IEC 61076-3-125 bis zum CD Dokument publiziert. 2017 wurde von der Firma CommScope ein weiteres SPE Steckgesicht zur Normung eingereicht und beschlossen für alle SPE Steckverbinder die Normenreihe IEC 63171 zu erstellen. Dementsprechend wurde bei SC48B das Projektteam PT63171 ins Leben gerufen und mit der Erstellung dieser neuen Normenreihe beauftragt. Die bis zu diesem Zeitpunkt bereits in Arbeit befindlichen Normen werden als in sich geschlossene Dokumente fertiggestellt und später im Rahmen von Überarbeitungen in diese neue Normenreihe integriert.

Folgende Normenprojekte sind derzeit in Arbeit:

- IEC 63171 – Basisnorm mit allen notwendigen Spezifikationen und Prüfsequenzen (CDV verfügbar)
- IEC 63171-1 – SPE Steckverbinder der Firma CommScope auf Basis der LC Verriegelung für M111C1E1 Anwendungen (FDIS verfügbar)
- IEC 63171-2 – SPE Steckverbinder der Firma Reichle & De-Massari für M111C1E1 Anwendungen (CD verfügbar)
- IEC 63171-3 – SPE Steckverbinder der Siemon basierend auf einem Paar des bekannten Tera Steckverbinders für M111C1E1 Anwendungen (zurückgezogen)
- IEC 63171-4 – SPE Steckverbinder der Firma BKS für M111C1E1 Anwendungen (NP verfügbar)
- IEC 63171-5 – SPE Steckverbinder der Firma Phoenix Contact basierend dem IEC 63171-2 Steckgesicht für M212C2E2 und M313C3E3 Anwendungen (CD verfügbar)
- IEC 63171-6 (bisher IEC 61076-3-125) – SPE Steckverbinder der Firmen HARTING und TE Connectivity für M212C2E2 und M313C3E3 Anwendungen (Veröffentlicht seit 23.01.2020)

Anmerkung: Die IEC 63171-1 (LC Style) und die IEC 63171-6 (Industrial Style) sind vollständige Normendokumente mit allen notwendigen Spezifikationen und Prüfsequenzen. Alle später begonnenen Normen beziehen sich auf die Basisnorm IEC 63171 und beinhalten nur die unterschiedlichen mechanischen Ausführungen.

## Die Verkabelungsstandards für SPE

SPE und dafür normierte Steckverbinder fließen in die aktuellen Verkabelungsstandards ein. International betrifft das vor allem die Normenreihe für strukturierte Verkabelung nach ISO/IEC 11801:2017 und in ähnlicher Weise dann auch die europäische Normenreihe im CENELEC nach EN50173. Hier wird SPE über Anhänge (Amendements) zuerst in den Teil 3 Industrieverkabelung einfließen. Zentrales Dokument für diese Anhänge ist das ISO/IEC 11801 TR9906 „TECHNICAL REPORT: Balanced 1-pair cabling channels up to 600 MHz“. Die Implementierung von SPE in die ISO/IEC 11801 Dokumente ist deshalb so wichtig, da nur in dieser Norm die Verkabelungs-



Pushing Performance

*„Damit die SPE  
Implementierung kein  
Glücksspiel wird  
T1 Industrial Style nach  
IEC 63171-6!“*





# HARTING T1 Industrial



kanäle mit allen notwendigen Parametern (Länge, Anzahl Verbindungen, Bandbreite und das komplette Set an Übertragungstechnischen Parametern einschließlich NEXT, FEXT, Schirmungseigenschaften usw.) mit Relation zur Umgebung – MICE beschrieben werden und damit dann auch nach Installation messtechnisch überprüfbar sind. Parallel dazu werden auch die Installationsstandards für die Industrie als Basis für die Verkabelung von Automatisierungslösungen nach IEC 61918 (IEC SC65C) entsprechend angepasst. Inwieweit das dann auch die Automatisierungsprofile selbst beeinflusst, bleibt abzuwarten. Sicher ist, dass sich PI (mit PROFINET nach IEC 61784-5-3) und ODVA (mit EtherNet/IP nach IEC 61784-5-2) aktiv an der Weiterentwicklung und Implementierung von Standards zu SPE beteiligen.

In Verbindung mit den Komponentenstandards zu Steckverbindern und Kabeln erhalten alle Anwender für SPE klare Richtlinien zum Aufbau und zur Überprüfung von entsprechenden Übertragungsstrecken. Diese Verkabelungen bleiben für 1 Gbit/s SPE erst einmal auf eine Reichweite von 40 m beschränkt. Für die 10 Mbit/s Variante werden Reichweiten von 1.000 m und darüber hinaus realisiert.

Weitere Papiere zu SPE Verkabelungen mit Relevanz für die USA einschließlich Kanada und Mexiko werden bei ANSI/TIA-568.5 und TIA TR42.7 vorbereitet. In den TIA42 Papieren wird das über ein Addendum: TIA-1005-A-3 aktualisiert. Inhaltlich sind all diese Ergänzungen weitestgehend deckungsgleich.

Diese Verkabelungsnormen liefern dem Anwender Informationen über die Struktur der Verkabelung, die einzusetzenden Verkabelungskomponenten zur Erreichung der Leistungsvorgaben und die Grenzwerte zur Überprüfung der Verkabelung. Somit sind sie wichtigstes Instrument zum Aufbau und zur Inbetriebnahme von SPE Verkabelungen. Gleichzeitig stellen sie über die Referenzen zu den Komponentenstandards (z.B. Steckverbinder nach IEC 63171-6) die Kompatibilität zwischen Geräten und Verkabelung sicher. Diese Kompatibilität ist Grundvoraussetzung für die Funktion von Netzwerken und Verbindungen auf Basis SPE und damit Basis für IoT/IIoT. Der Einsatz anderer Verkabelungskomponenten, als z.B. in ISO/IEC 11801-3 Amd.1, ist zwar grundsätzlich möglich, allerdings dann nicht mehr normkonform und birgt das Risiko von Inkompatibilitäten und Funktionseinbußen.

Deshalb haben ISO/IEC JTC 1/SC 25/WG 3 und TIA42 Anfang 2018 internationale Auswahlprozesse zur Festlegung einheitlicher Schnittstellen gestartet. Diese beiden Auswahlprozesse wurden von der IEEE 802.3

mit initiiert, indem von dort eine Empfehlung für ein SPE MDI (SPE Geräteschnittstelle) von ISO/IEC und TIA erbeten wurde.

An diesem Auswahlprozess haben sich über 20 nationale Expertengremien beteiligten. Im Ergebnis dieser Wahl haben sich zwei Steckgesichter durchgesetzt:

- Für die Gebäudeverkabelung ( $M_1I_1C_1E_1$ ) das Steckgesicht nach IEC 63171-1: dieses Steckgesicht basiert auf dem Vorschlag der Firma CommScope;
- Für die Industrie und industriennahe Anwendungen ( $M_2I_2C_2E_2$  und  $M_3I_3C_3E_3$ ) das Steckgesicht nach **IEC 63171-6** (bisher IEC 61076-3-125): dieses Steckgesicht basiert auf dem Vorschlag von HARTING T1 Industrial.

Der Auswahlprozess bei TIA 42 hat die Ergebnisse von ISO/IEC bestätigt und damit besteht global große Einigkeit über die SPE Schnittstellen. Diese gewählten Steckgesichter werden jetzt in die jeweiligen internationalen Verkabelungsnormen eingearbeitet. Auch IEEE802.3 hat diese SPE Interfaces in die IEEE802.3cg als empfohlene Media Depended Interface (MDI) festgelegt.

Damit ist die Voraussetzung für den großflächigen Einsatz und somit für die erfolgreiche Vermarktung der SPE Technologie mit der durchgängigen Kompatibilität von Geräten, Kabeln und Steckverbindern in unterschiedlichen Anwendungsfeldern gewährleistet und Planungssicherheit für alle Marktteilnehmer hergestellt.

**Glossar** – MICE beschreibt Umgebungsbedingungen für Installationen und gibt Planern und Anwendern wertvolle Hinweise zur Spezifikation technischer Ausrüstungen und Verkabelungen. Dabei werden Anforderungen zur mechanischen Robustheit (M), zum IPxx Grad (I), zu chemischer und klimatischer Widerstandsfähigkeit (C) und zur elektromagnetischen Sicherheit (E) beschrieben. Im weitesten Sinne beschreibt  $M_1I_1C_1E_1$  eine Umgebung, wie sie z.B. in einem Bürogebäude vorzufinden ist und  $M_3I_3C_3E_3$  eine recht extreme Umgebung, wie sie in der Industrie oder im Außenbereich vorkommen kann.

# 4.

## Tief in die Technik



Pushing Performance

Auch wenn für existierende 4-paarige Datenverkabelungen wie auch für SPE verdrehte Adernpaare benötigt werden, sind die Anforderungen an die Verkabelung und Verbindungstechnik insbesondere hinsichtlich der Übertragungslänge mit den aktuell verfügbaren SPE Übertragungsstandards sowie auch den HF-Anforderungen, was sich insbesondere am benötigten Bandbreitenbedarf zeigt, recht unterschiedlich.

Datenrate	4-paarige Ethernetverkabelung (MPE)		Single Pair Ethernet (SPE)	
	Bandbreite (Cat.)	Übertragungslänge	Bandbreite (Cat.)	Übertragungslänge
10 Mbit/s	16 MHz (Cat. 3)	100 m	20 MHz	1000 m
100 Mbit/s	100 MHz (Cat. 5)	100 m	166 MHz	40 m
1000 Mbit/s	100 MHz (Cat. 5)	100 m	600 MHz	40 m
10 Gbit/s	500 MHz (Cat. 6A)	100 m	4-5 GHz tbd.	15 m

### Migration von mehrpaarigen Verkabelungen (MPE) aus SPE (cable sharing)

Hohe Datenraten über ein Adernpaar – Wieso also nicht 4 SPE Strecken in bestehender Infrastruktur vereinen? Diese Idee, quasi 4-paarige Verkabelungen für SPE mittels „cable sharing“ zu benutzen, drängt sich ja geradezu auf. In Sonderfällen ist dies zwar möglich, aber technisch und wirtschaftlich nicht wirklich sinnvoll. Zum einen erfordern SPE Verkabelungen im Vergleich zu MPE höhere Bandbreiten, insbesondere beim Übersprechen, und im Vergleich zu MPE mit 100 m Übertragungslänge gibt es bisher bei SPE erst kürzere Übertragungslängen von 40 m bei 1000BASE-T1 für geschirmte Kabel. Damit muss in diesem Migrationsszenario der Anwender die installierten Verkabelungen Strecke für Strecke neu für SPE überprüfen.

Damit ist auch die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit solcher Nutzungskonzepte fraglich. Um beispielsweise eine installierte Cat. 6A Verkabelung für 1000BASE-T1 zu qualifizieren, darf die Übertragungslänge 40 m nicht überschreiten und die entsprechenden HF-Parameter müssen bis 600 MHz qualifiziert werden. Selbst wenn das alles optimal passt, kann man dann mit SPE 4x 1G bit/s übertragen, wobei doch diese Cat. 6A Verkabelungsstrecken heute mit 10 Gbit/s MPE genutzt werden können.

### Die Verbindungstechnik für Single Pair Ethernet

Einzelne Steckverbindertypen sind untrennbar mit einer bestimmten Anwendung verbunden und natürlich international genormt. Bekannte Beispiele dafür sind die RJ45 Steckverbinder für Ethernet und die prägnanten HDMI oder DVI Steckverbinder für die Videoübertragung. Genormte Interfacesteckverbinder sind somit die Voraussetzung für die erfolgreiche Markteinführung neuer Netzwerktechnologien wie SPE, denn nur mit genormten Schnittstellen ist es möglich unterschiedlichste Geräte in einem einheitlichen Datennetz miteinander zu vernetzen. Die Auslegung der SPE Steckverbinder nach IEC 36171-6 erfolgte nach den Vorgaben aus den zugehörigen IEE 802.3 Normen und weiteren Marktanforderungen.

### Auslegung der elektrischen Kennwerte

#### Nennspannung:

Für die reine Ethernetübertragung wird üblicherweise ein differentielles Spannungssignal von +/- 1V verwendet. Für die Festlegung der Nennspannung eines SPE Steckverbinders ist jedoch die parallele Nutzung der beiden Adern auch für die Fernspeisung zu berücksichtigen. Das hierfür bei SPE verwendete Verfahren nennt sich Power over Data Line (PoDL) und ist gemäß IEEE 802.3bu genormt. Ähnlich wie bei PoE ist die maximale Nennspannung 48 V DC und damit ergibt eine max. Speisespannung des Power Sourcing Equipment (PSE) von 60 V DC. Anders als bei PoE sind bei PoDL weitere typische Bordnetz-Spannungen mit 12 V und 24 V DC definiert, wie sie in Fahrzeugen eingesetzt werden.

# Ihr Sensor ist anspruchsvoll? Dann SPE!



### Isolationsspannung:

Auch wenn in den IEEE80.3 SPE Normen mit Rücksicht auf die größte Anwendergruppe in der Automobilindustrie keine expliziten Angaben zu den Isolationsanforderungen definiert sind, werden für die üblichen Anwendungen in der Gebäude- und Industrieverkabelung die gleichen Anforderungen wie für 4-paariges Ethernet mit 1,5 kV (rms) Kontakt zu Schirm und 1,0 kV (rms) Kontakt zu Kontakt (siehe beispielsweise Abschnitt 126.5.1 IEEE802.3cr) angesetzt.

### Nennstrom:

Für die Auslegung des Nennstromes sind ebenfalls die PoDL Anforderungen maßgeblich. Im aktuellen Standard ist in Tabelle 104-1 IEEE 802.3bu die maximale Einspeiseleistung mit 63,3 W angegeben, was einer max. Versorgungsleistung am Powered Device (PD) von 50 W entspricht. Dadurch ergibt sich bei minimal zulässiger Speisespannung ein 1,36 A bei 48 V. Um ein zukunftsfähiges Interface zu spezifizieren wird jedoch ein Nennstrom 4 A DC gewählt.

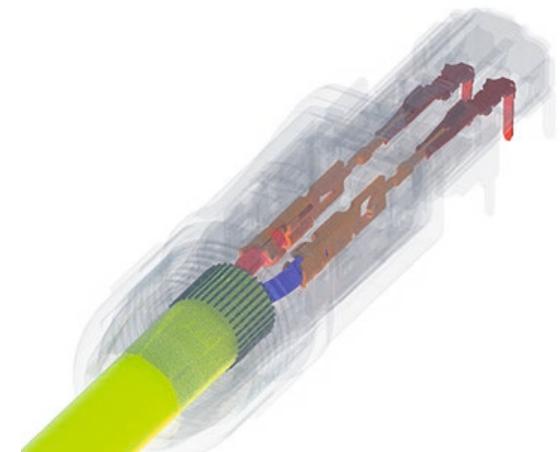
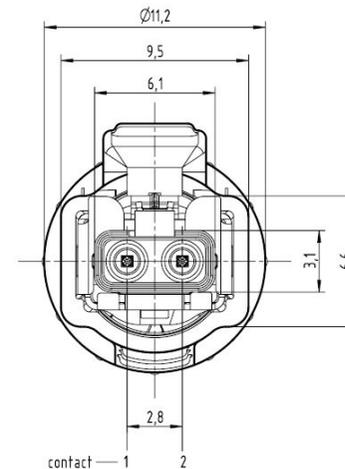
Hintergrund: Gemäß dem National Electric Code (NEC) für den nordamerikanischen Markt ist die maximale Leistung für NEC Class 2 Geräte auf 100 W beschränkt und dies ist auch die maximale Fernspeiseleistung beim PoE Standard IEEE802.3bt. Damit werden auch zukünftige PoDL Erweiterungen unterhalb 100 W bleiben und für die in der industriellen Automation verwendete 24 V Versorgungsspannung ergibt sich gerundet der max. Nennstrom von 4 A.



Pushing Performance

### HF-Übertragungsparameter

SPE nutzt zur Datenübertragung eine Vollduplex-Verbindung über ein differenzielles Adernpaar mit einer Impedanz von 100 Ohm. Um eine geringere Störempfindlichkeit insbesondere für den Einsatz in Elektrofahrzeugen zu realisieren, wurde für SPE eine geringere Kodierung mit PAM3 bis 1000BASE-T1 und PAM4 für 2,5/5/10GBASE-T1 gewählt. Dadurch erhöht sich im Vergleich zu „Mehrpaarigen Ethernet-Standards“ (MPE) der Bandbreitenbedarf enorm. So sind aktuell bei IEEE802.3ch für Multigigabit SPE bis zu 4 GHz bei 10GBASE-T1 (Vergleich bei 10GBASE-T nur 500 Mhz) in Diskussion. Damit steigen die HF Anforderungen an die Kabel- und Verbindungstechnik und ein sehr symmetrischer Aufbau der Steckverbinder ist notwendig, um die HF Anforderungen zuverlässig zu erfüllen. Aus diesem Grunde sind die Kontakte beim T1 Industrial Steckverbinder symmetrisch im vollständig geschlossenen Schirmgehäuse angeordnet. Somit sind die Koppelkapazitäten und -induktivitäten beider Leiter zur Schirmung oder der Leiterplatte identisch und die differentielle Datenübertragung wird nicht gestört. Dadurch ist der Signalweg in beiden Leiterwegen identisch und Signallaufzeitunterschiede werden vermieden.



Symmetrischer Aufbau des Steckgesichtes nach IEC 63171-6

## Technische Ausführung der SPE Verbindungstechnik nach IEC 63171-6

Ziel der Konstruktionsauslegung für das SPE-Interface war die Berücksichtigung aller bereits oben erläuterten elektrischen Parameter mit ausreichender Reserve für zukünftige höhere Bandbreiten und die Anforderungen hinsichtlich Fernspeisung (PoDL) sowie die Wahl bereits im Markt akzeptierter und verbreiteter Gehäusebauformen. Dabei wurde auch großen Wert auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen dem Markttrend nach miniaturisierten Schnittstellen und hoher Robustheit auf der einen Seite sowie gute Handhabbarkeit und optimale Auslegung des Anschlussbereiches passend zu den zu verwendenden Adern- und Kabeldurchmessern gelegt. Diesen Konstruktionszielen folgend wurden als Kontaktsystem 0,5 mm Kontakte mit einem Kontaktabstand von 2,8 mm gewählt. Der Kontaktabstand ist dabei maßgeblich mit den anzuschließenden Kabelquerschnitten abgestimmt. Für die kurzen Übertragungstrecken bei 100BASE-T1 und 1000BASE-T1 werden AWG 26 bzw. AWG 22 Leiter mit Aderndurchmessern von typisch ca. 1 mm bzw. ca. 1,6 mm Durchmesser eingesetzt. Für die 10BASE-T1L 1.000 m mit Reichweite werden jedoch AWG 16/18 Leiter mit typisch ca. 2 mm Aderndurchmesser benötigt und somit sind 2,8 mm Kontaktabstand optimal.

Gemäß den IEEE 802.3 Normen werden die größeren Reichweiten nur mit geschirmten Übertragungstrecken erreicht. Aus diesem Grund und um auch in rauen Industrieumgebungen eine sichere Übertragung



SPE-Steckverbinder-Ausführungen nach IEC 63171-6 als IP65/67 sowie als IP20 Ausführungen (obere Reihe v.l.n.r.: M12 PushPull Stvb., M8 PushPull Stvb., M8 SnapIn Stvb. und IP20 Stvb. / obere Reihe v.l.n.r.: M12 Buchse mit Schraub- und PushPull-Verriegelung, M8 Buchse mit SnapIn- und PushPull-Verriegelung, gewinkelte IP20 Leiterplattenbuchse)

container“ in die M8-Bauformen mit Schraub-, SnapIn- und PushPull-Verriegelung integriert. Weiterhin sind auch M12-Bauformen mit Schraub- und PushPull-Verriegelung genormt, um insbesondere die großen Kabelquerschnitte für den 1.000 m 10BASE-T1L Kanal aufzunehmen. In allen Bauformen wird damit das gleiche Steckgesicht verwendet und somit können auch IP20 Steckverbinder zur Parametrierung oder für Prüfungen mit den IP65/67 Schnittstellen verbunden werden. Die Nutzung der weit verbreiteten M8/M12 Bauformen gewährleistet die gute Marktakzeptanz und reduziert gleichzeitig die notwendigen Investitionskosten, da bei

zu gewährleisten, wurde konsequent ein geschirmter Aufbau umgesetzt. Dabei dienen die Schirmbleche auch gleichzeitig der robusten mechanischen Verriegelung der IP 20 Version. Mit dem metallischen Rasthebel wird dabei auch das beim RJ45 oft bemängelte Problem mit der defekten Verriegelung eliminiert. In industriellen Anwendungen haben sich M8 und M12 Rundsteckverbinder etabliert.

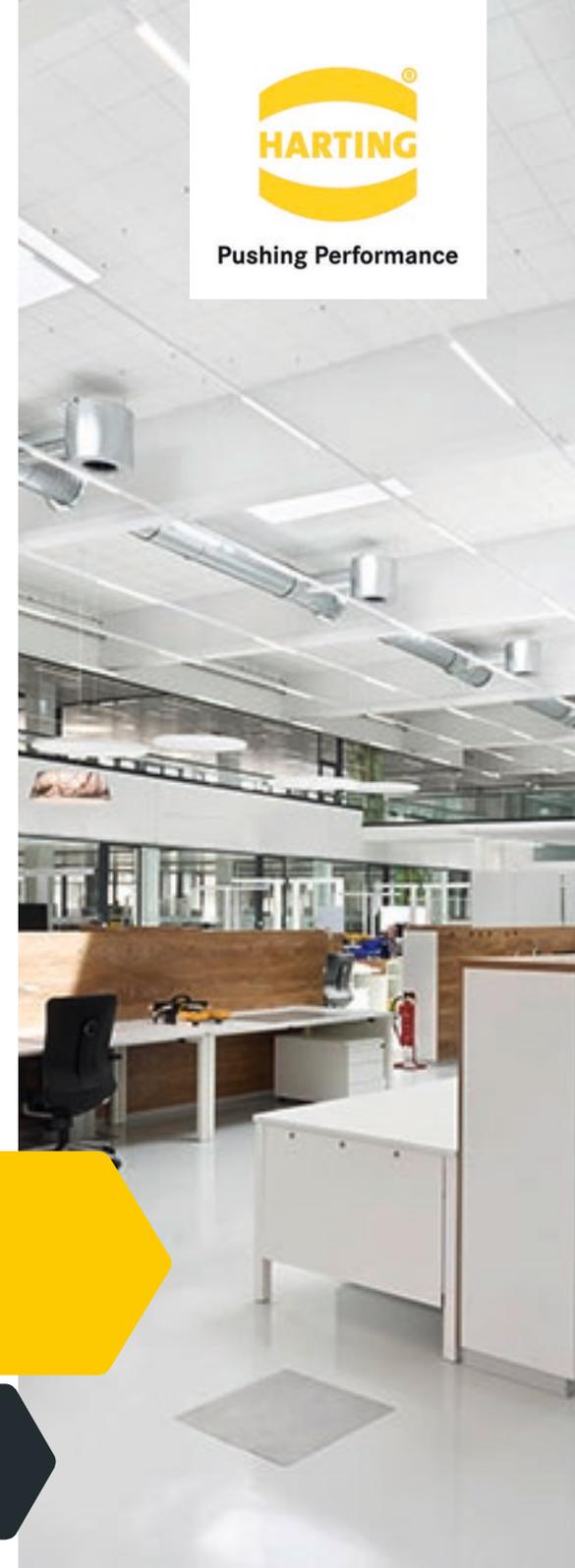
Dementsprechend wurde das neue SPE-Steckgesicht als einheitlicher „Daten-

vielen Anbietern die entsprechenden Gehäusebauformen vorhanden sind. Die Nutzung der identischen Buchsen- und Steckverbindereinsätze („Datencontainer“) in allen Bauformen garantiert die einheitlichen technischen Kennwerte in allen Baureihen und schafft günstige Voraussetzungen für eine kosteneffiziente Fertigung durch Skaleneffekte. Damit steht mit den SPE Schnittstellen nach IEC 63171-6 ein international genormtes Steckgesicht zur Verfügung, das die zukünftige Nutzung von SPE in industriellen Anwendungen optimal unterstützt. Durch die Nutzung dieses genormten SPE Datencontainers ist auch die Integration dieses IEC 63171-6 Steckgesichts in weitere Bauformen wie beispielsweise dem als neues Normenprojekt in Arbeit befindlichen Steckverbindersystem mit innenliegender M12-Push-Pull-Verriegelung oder auch weitere Bauformen einfach möglich.

# HARTING steht seit 75 Jahren für Qualität und Innovation



Pushing Performance



# 5.

## Ein Ecosystem aus starken Partnern

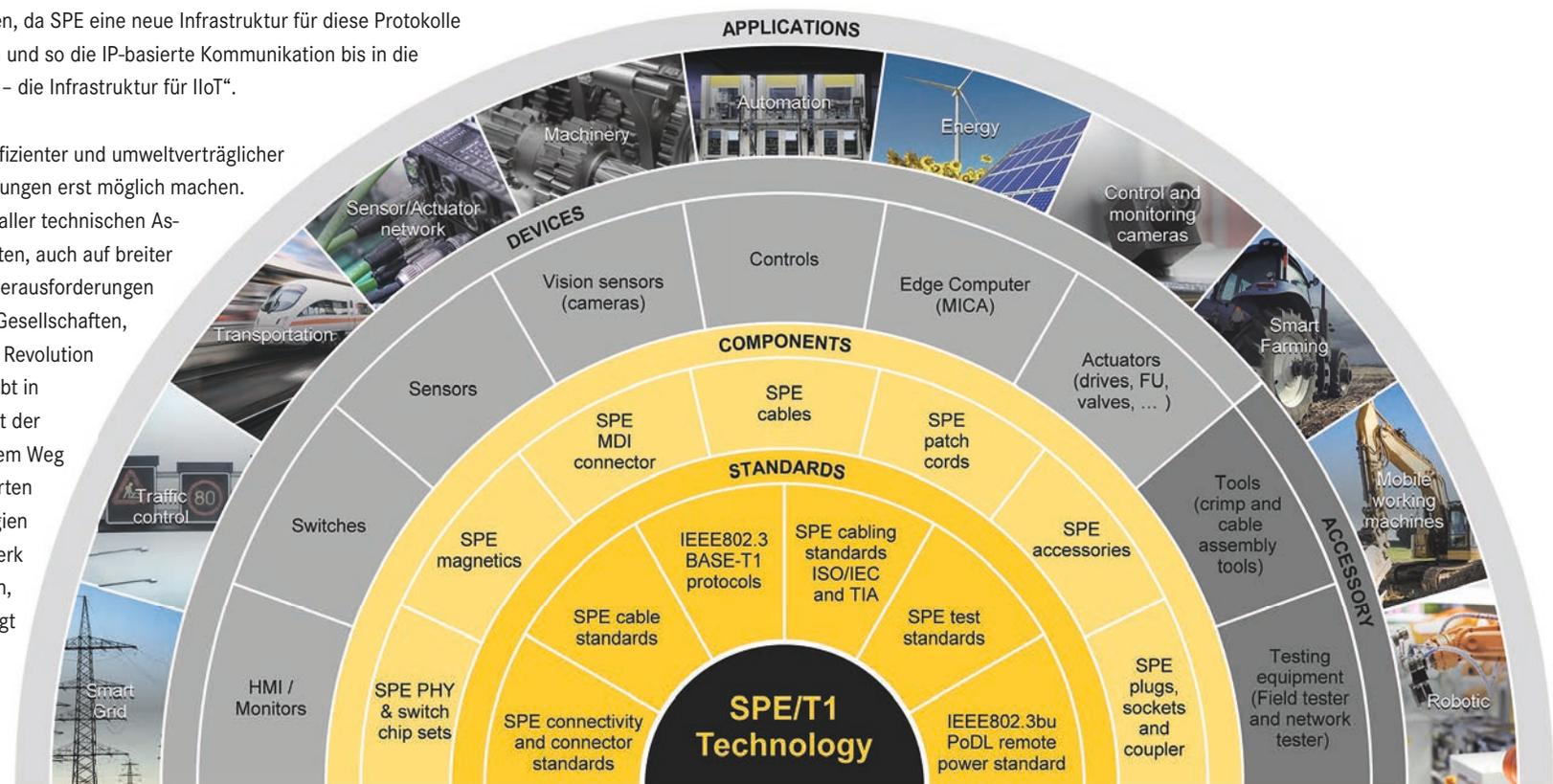


Pushing Performance

Industrial Ethernet verbreitet sich immer weiter in Automatisierungsanwendungen und I4.0 Applikationen. Immer mehr Geräte und Lösungen verschiedenster Branchen werden smart und brauchen dafür die richtige Ethernet Infrastruktur. Das SPE Ecosystem zeigt Interessenten auf, wie Technologie, Standards, Infrastrukturkomponenten, Geräte und Testequipment logisch aufeinander aufbauen und letztlich die solide Grundlage für die Digitalisierung verschiedener Märkte realisieren. Dazu hat HARTING aktive Grundlagenarbeit in der Normung geschaffen, eine industrietaugliche Infrastruktur entwickelt und gibt Geräteherstellern nun aktiv Hilfestellung bei der Implementierung von SPE.

Zusammen wollen alle Partner die Bausteine für das SPE Ökosystem bereitstellen. Sie sehen sich als Partner für die Industrial Ethernet Nutzergruppen, da SPE eine neue Infrastruktur für diese Protokolle wie beispielsweise PROFINET bereitstellen kann und so die IP-basierte Kommunikation bis in die Feldebene ermöglicht. Getreu dem Claim: „SPE – die Infrastruktur für IIoT“.

Damit wird SPE nicht nur viele Anwendungen effizienter und umweltverträglicher unterstützen. SPE wird auch viele neue Anwendungen erst möglich machen. Neben der derzeit überwiegenden Betrachtung aller technischen Aspekte der Digitalisierung ist es dringend angeraten, auch auf breiter gesellschaftlicher Basis die gesellschaftlichen Herausforderungen und Auswirkungen auf unsere demokratischen Gesellschaften, die sich erst mit Beginn der ersten industriellen Revolution geformt haben, zu diskutieren. Ulrich Sandler gibt in seinem 2018 erschienenem Buch „Das Gespinnst der Digitalisierung Menschheit im Umbruch – auf dem Weg zu einer neuen Weltanschauung“ einen detaillierten Abriss der Entwicklung von Industrie, Technologien und Gesellschaft. Ein durchaus lesenswertes Werk mit vielen Anregungen zu notwendigen Schritten, damit Digitalisierung auch gesellschaftlich gelingt und dem Wohle der Menschheit dient.





INDUSTRIAL  
PARTNER  
NETWORK



COMMITTED TO IEC 63 17 1-6

# 6.

## Wohin geht die Reise? Fazit und Ausblick



Pushing Performance

Neue Anwendungen, wie autonomes Fahren, IoT und IIoT benötigen neue und leistungsfähigere Netzwerktechnologien. SPE ist eine solche Technologie. Die Möglichkeit, Geräte mit nur einem Anschluss neben Daten gleichzeitig auch noch mit Energie zu versorgen, bevorteilt diese Technik gegenüber Wireless Lösungen enorm. Die Fernspeisung mittels PoDL macht Batterien und Akkus überflüssig – ein Plus in Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit. Kabelgebundene Übertragungsverfahren haben auch den weiteren Vorteil, dass keine regulatorischen Einschränkungen hinsichtlich der nutzbaren Frequenzbereiche existieren und somit keine Lizenzkosten für die Bereitstellung der notwendigen Frequenzbänder anfallen. Da Frequenzbänder auch international nicht einheitlich vergeben werden, müssen Geräte mit Funkschnittstellen immer den unterschiedlichen Marktanforderungen angepasst werden. Auch das entfällt für alle kabelgebundenen Übertragungsverfahren und es können weltweit einheitliche Geräte entwickelt werden.

Zusammen mit den bei IEEE 802.1 entwickelten Time Sensitive Networks (TSN) Standards wird die Ethernet Technologie mit allen notwendigen Mechanismen erweitert, um Determinismus in der Datenkommunikation zu realisieren – eine Voraussetzung für alle Echtzeitanwendungen.

Damit qualifiziert sich SPE als perfekte Infrastrukturlösung und „Enabler“ für IoT und IIoT und ist somit ein wichtiger Baustein für Integrated Industrie.

Damit SPE dieses Potential voll entfalten kann, ist es im Sinne eines Ökosystems notwendig, dass die Partner aus unterschiedlichen Industriezweigen intensiv zusammen arbeiten und diese Vision möglich machen. Das beginnt in der gemeinsamen internationalen Normung bei IEEE 802, ISO/IEC und TIA und setzt sich bei der Entwicklung und Bereitstellung der notwendigen Komponenten beginnend bei den Halbleitern, magnetischen Bauteilen, Steckverbindern und Verkabelungskomponenten und Messtechnik fort. Nur wenn die Standards und Komponenten zumindest in ersten Musterstückzahlen vorhanden sind, können die Anwender die Vielzahl der möglichen Geräte mit der SPE-Übertragungstechnik ausrüsten und vielfältige neue Anwendungen erschließen.





Pushing Performance

# Single Pair Ethernet

## Die Infrastruktur für IIoT

# Autoren:



Pushing Performance



**Matthias Fritsche** ist Product Manager und Experte für Ethernet Connectivity bei Harting und betreut für die Technologiegruppe neueste Trends und Entwicklungen für industrielle Ethernet-Kommunikation. Weiterhin sitzt er in diversen Normengremien und treibt aktiv Standards und Normen für Anwender voran. Der Autor begleitet und treibt das Thema Single Pair Ethernet schon mehrere Jahre und sieht es als die zukünftige Infrastruktur für industrielle Netzwerke.



**Jonas Diekmann** ist Technischer Redakteur in der Harting-Technologiegruppe und verantwortet hier den Bereich PR, Presse, Marketing und Contentmanagement für den Geschäftsbereich Electronics. Auch der Co-Autor betreut das Thema SPE schon mehrere Jahre und bringt es Kunden und Lesern von Fachbeiträgen als die Gbit-Ethernet-Grundlage der Zukunft näher.



**Rainer Schmidt** ist Business Development Manager für Industrieverkabelung bei der HARTING Technologiegruppe in Deutschland. Schmidt ist in der internationalen Normung tätig, so z.B. in IEC SC65C (IEC61918, IEC61784-5 Serie), Cenelec TC215 (EN50173 und 50174 Serie) und TIA TR-42. Schmidt ist Vorsitzender von ISO/IEC JTC 1/SC25 und Mitglied von SC 25/WG 3 (ISO/IEC11801-Serie).