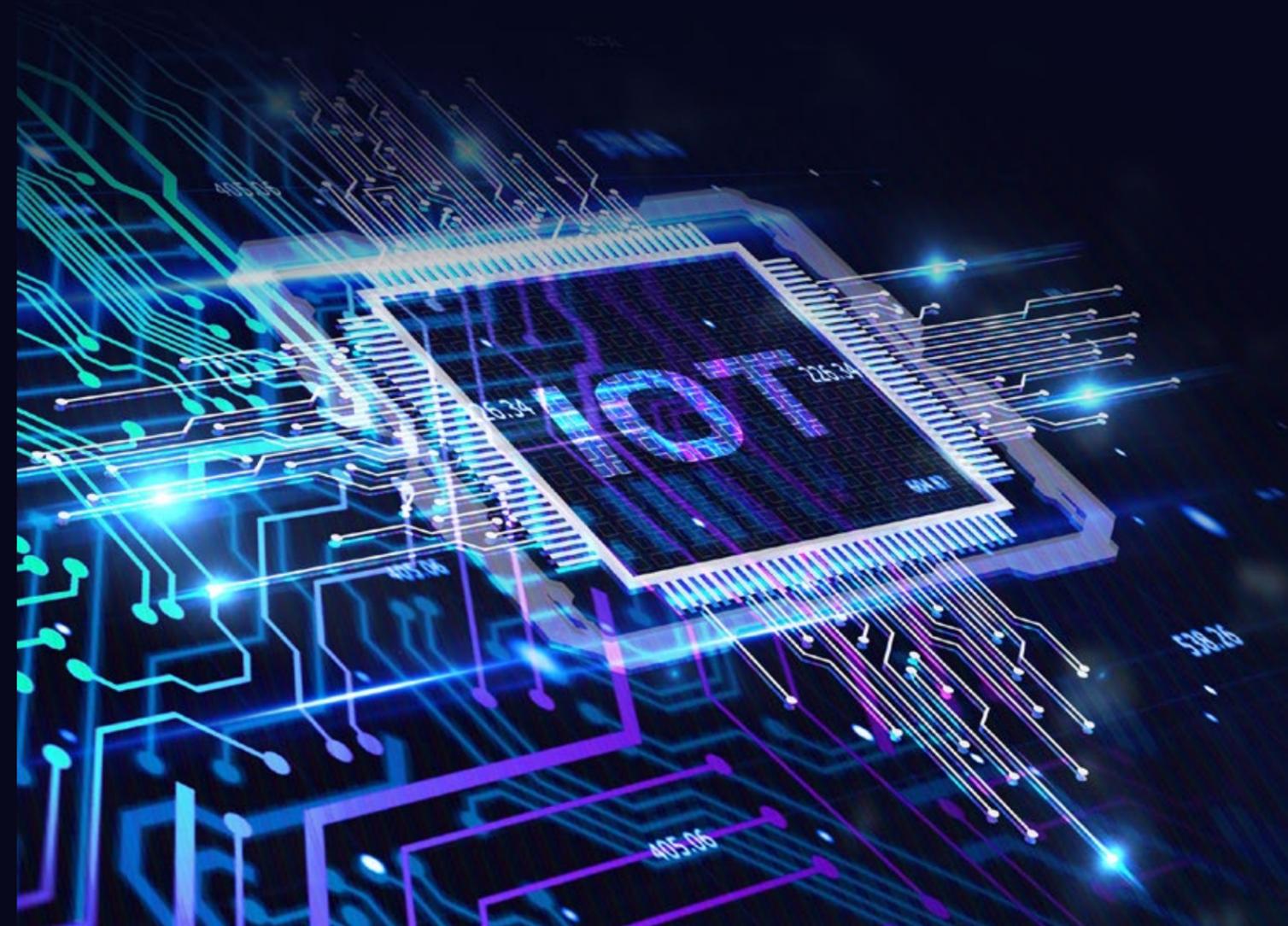


# RÜCKWÄRTSKOMPATIBLE SPE-VERKABELUNG: DER ERFOLGREICHE WEG ZU IoT-INFRASTRUKTUREN

Single Pair Ethernet (SPE) in IIoT- und BIIoT-Umgebungen:  
skalierbar, investitionssicher und hoch performant



**Draka**

A Brand of Prysmian Group

Draka Comteq Germany GmbH & Co. KG  
Piccoloministr. 2  
51063 Cologne | Germany  
[www.draka-cable.com](http://www.draka-cable.com)  
[multimedia@prysmiangroup.com](mailto:multimedia@prysmiangroup.com)

**Draka**

A Brand of Prysmian Group

**Bruno Escher**  
Global Product Manager for ICS – Industrial Cables and Specials,  
BU Multimedia Solutions (MMS) der Prysmian Group  
**Andreas Waßmuth**  
Director R&D / Product Management,  
BU Multimedia Solutions (MMS) der Prysmian Group

## INHALT

<b>ABSTRAKT</b>	<b>5</b>
<b>1. EINFÜHRUNG</b>	<b>6</b>
1.1. Schrittweise Migration	7
<b>2. METHODIK</b>	<b>8</b>
2.1. Bauweise	8
2.2. Anforderungen an Legacy-Protokollkabel	8
<b>3. SPE-KABELANFORDERUNGEN</b>	<b>10</b>
3.1. Niederfrequenzmessungen	11
<b>4. Visualisierung: Ampelsystem</b>	<b>11</b>
<b>5. Nachrüsten oder neu installieren?</b>	<b>13</b>
5.1. Praktische Ergebnisse von Legacy-Kabeln	15
<b>6. Schlussfolgerung</b>	<b>15</b>
<b>7. Danksagung</b>	<b>15</b>
<b>8. Literatur</b>	<b>16</b>

## Abstrakt

Das Internet der Dinge (IoT) in Gebäuden (BIIoT) und industriellen Umgebungen (IIoT) ist weiter auf dem Vormarsch – mit immer komplexeren und ausgereifteren Anwendungen und Gerätesystemen. Damit verbunden ist ein enormer Bedarf an Bandbreite und die Notwendigkeit der Integrationsfähigkeit in Management-Software-Tools (BMS, Dashboards, MES, ERP) in einem All-IP-Netzwerk. Technologischer Wegbereiter hierfür ist Single Pair Ethernet (SPE). Bis eine vollständige Migration erfolgt ist, wird sicher noch Zeit vergehen und es werden weitere Investitionen nötig sein. Unternehmen können ihre IT-Infrastrukturen jedoch schon heute „Fit for IoT“ machen und die bestehende IT-Umgebung sukzessive auf die neue Gerätegeneration umstellen.

Im vorliegenden White Paper zeigt die BU Multimedia Solutions der Prysmian Group auf, wie Unternehmen SPE-Kabel mit Legacy-Feldbusprotokollen (Foundation Fieldbus, Profibus PA und PB, RS485, BacNet, Modbus, Canbus) einsetzen können (Rückwärtskompatibilität). Im Rahmen der Untersuchung hat der Kabelexperte Design, elektrische Eigenschaften der primären Leistungskriterien (Kapazität, ohmscher Widerstand, Widerstands-Unsymmetrie) und die sekundären Leistungen (Dämpfung, Impedanz, Rückflussdämpfung, Ausgewogenheit und insbesondere der Frequenzbereich der Übertragung) von Legacy- und SPE-Kabeln miteinander verglichen.

Die Untersuchung ergab, dass die SPE-Kabel mit wichtigen Legacy-Protokollen rückwärtskompatibel sind und sich daher für den Einsatz mit Legacy-Geräten wie CAN, RS485, Foundation Fieldbus H1 und Profibus PA – jedoch nicht mit Profibus DP – eignen. Im Hinblick auf das zunehmende Streben nach Vernetzung sind SPE-Kabel das Mittel der Wahl für künftige IIoT- oder BIIoT-Anwendungen. Sie bereiten die bestehende Infrastruktur auf die nächste Generation von Geräten vor und ersetzen die alten Busse schrittweise, ohne Unterbrechungen und kurzfristige Upgrades.

Schließlich hat die BU Multimedia Solutions die Nachrüstung von alten Bus-Kabeln untersucht. Dies erwies sich jedoch als riskant, da die Legacy-Busprotokolle nicht die für SPE-Geräte nötige Bandbreite liefern können.

## 1. EINFÜHRUNG

Ob in der Gebäudetechnik oder in der Industrie, der Einsatz intelligenter Lösungen rückt zunehmend in den Mittelpunkt moderner Automatisierungsprozesse. Mit smarten Infrastrukturen lassen sich die Umgebungsbedingungen lückenlos überwachen und an die Anforderungen der Nutzer jederzeit automatisch anpassen. Sie ermöglichen

- den weltweiten Fernzugriff auf Informationen, Maschinen und Anlagen,
- die Überwachung des Verbrauchs und der Effizienz (z. B. Energie, Wasser),
- eine erhöhte, mehrstufige Zugriffssicherheit und Schutz vor Gefahren,
- benutzerdefinierbare Einstellungen und Profilerstellung (z. B. Lichtstärke, Temperatenausgleich),
- schnelle Updates und eine klare Übersicht, um Wartung und Fehlersuche zu erleichtern.

Die IoT-Anwendungen erfordern eine neue Generation von Sensoren und Aktoren, die in einem Netzwerk miteinander kommunizieren. Sie müssen mehr „sehen“, mehr „spüren“ und mehr analysieren. Allerdings stößt die traditionelle Automatisierungsstruktur an Grenzen, die sie überwinden muss.

Mit Blick auf die ISA95-Automatisierungspyramide lassen sich in einer Fabrik drei verschiedene Automatisierungsebenen unterscheiden:

- Die Leitebene mit ERP-Datenerfassung, übergeordneten Überwachungssystemen und visueller Überwachung des Anlagenstatus. Die PCs kommunizieren über herkömmliche Kabelnetze.
- Die Automatisierungsebene mit SPS und weiteren Steuerungen, die die logischen und mathematischen Daten empfangen, verarbeiten und die Befehle an die Produktionsstätte zurücksenden. Auf dieser Ebene findet auch die Kommunikation zwischen Geräten statt, die Ethernet-basierte Protokolle wie Ethernet/IP oder Profinet verwenden.



- Die Feldebene mit Sensoren, Motoren, Elektroventilen und anderen Elementen, die die Prozesse erfassen oder auf sie einwirken. Hier gibt es eine Vielzahl an verschiedenen Protokollen, Kabeln, Steckern, Datenpaketen oder analogen Signalen. Sie laufen alle parallel. Wenn sie miteinander sprechen sollen, muss ein aktives Gateway-Gerät übersetzen. Das bedeutet mehr Ersatzteile auf Lager, mehr Spezialisten für verschiedene Protokolle und eine schwierigere Fehlersuche. Auf dieser Ebene haben wir Legacy-Technologien, die für heutige Anwendungen funktionieren, aber für künftige IoT-Infrastrukturen nicht die nötige Bandbreite und Integrationsfähigkeit bieten. Es ist die einzige Ebene der Automatisierungspyramide, die nicht auf Ethernet basiert.

Damit eine All-IP-Automatisierungspyramide mit transparenter, für jeden sichtbarer und zugänglicher Struktur entsteht, bedarf es eines einheitlichen Kommunikationssystems jenseits lokaler Infrastrukturen und über alle Ebenen hinweg. Alle Komponenten und Geräte müssen vollständig miteinander vernetzt sein. Die Feldebene mit denselben Ethernet-Protokollen und Datenformaten kommunizieren wie die oberen Ebenen. Nur so kann die Umrüstung effizient und zielführend für die Zukunft vonstattengehen.

Die Lösung, um Ethernet auf die Feldebene zu bringen, heißt: SPE. Die SPE-Technologie ist die Grundlage für das IoT in Fabriken und Gebäuden der Zukunft, weil sie ein durchgängiges IP-basiertes Netz ermöglicht. Wenn alle Feldgeräte dieselbe Ethernet-Sprache sprechen, können alle Bereiche, vom Büro bis zum Sensor, miteinander verbunden werden. Die Vernetzung wird vereinfacht und verschlankt. Industrielle Anwendungsbereiche nutzen bisher bevorzugt vieradrige Kupferkabel, allerdings sind diese weniger flexibel, teurer und liefern keine einheitliche Verbindung aller Feldgeräte. Eine SPE-Verkabelung kann Systeme verbinden und vielseitig eingesetzt werden. Sie ist auf keine Branche beschränkt. Neben der Möglichkeit zur Energieversorgung decken sie, je nach Base, Datengeschwindigkeit und Entfernung ab. Außerdem macht die Automatisierung mit uniformen Protokollen den Betrieb in Sachen Wartung, Fehlererkennung, Ersatzteile oder Inbetriebnahme deutlich effizienter. Weitere Vorteile der SPE-Verkabelung: Sie ist platzsparend, günstig und leicht zu verlegen, was gerade auf kleinem Raum ein großer Mehrwert ist. Dadurch ist sie vor allem für den Automotive-Bereich attraktiv und kommt beispielsweise in der Automatisierungstechnik, Gebäudeautomation, Robotik oder Machine-to-Machine-Kommunikation zum Einsatz.

Die SPE-Anwendung ist von der IEEE standardisiert und verwendet ein Kabel mit einem einzigen verdrehten Paar, um Daten mit 10, 100 oder 1000 Mbps (802.3cg [1], 802.3bw [2], 802.3bp [3]) in Kanälen an Feldanwendungen zu übertragen (**siehe Tabelle 1**).

**Tabelle 1: SPE cable and applications**

10 Mbps	100 Mbps	1 Gbps
IEEE 802.3cg	IEEE 802.3bw	IEEE 802.3bp
1000 m	40 m	40 m
10 BASE-T1	100 BASE-T1	1000 BASE-T1



SPE ermöglicht die Vernetzung aller Feldgeräte über ein einfaches Konstruktionskabel mit einer viel höheren Bandbreite für die neuen Anwendungen und Sensoren/ Aktoren.

**Die zentrale Frage lautet: Müssen Anwender auf die neue Generation von Geräten warten oder können sie bereits jetzt mit der Installation von SPE-Kabeln beginnen und diese mit den installierten Legacy-Protokollen nutzen? Und wie sieht es andersherum aus? Können SPE-Applikationen über Legacy-Protokollkabel laufen?**

### 1.1 Schrittweise Migration

Die schrittweise Umstellung auf SPE bedeutet den Schlüssel zum Erfolg. Wie meist bei Neuerungen, ist ein sofortiger Umstieg in der Praxis nur schwer umsetzbar. Ein Technologiewechsel samt Austausch aller bestehenden Systeme ist aufwendig und teuer und parallel zum laufenden Betrieb schwer umsetzbar. Vor allem die Geräte auf Feldebene benötigen ein aktives Gateway-Gerät als Übersetzer. Hier ist die Umstellung auf SPE-kompatible Strukturen deutlich mühsamer, kostenintensiver und letztlich noch nicht auf jeder Ebene vollständig implementierbar. Deshalb kann eine schrittweise Umstellung auf SPE ratsam sein: zuerst die Verkabelung, dann die Migration der Geräte.

Sind die neuen SPE-Komponenten mit den Legacy-Anwendungen rückwärtskompatibel, bestehen gute Chancen für einen schnellen und problemlosen Umstieg auf eine sukzessive SPE-Infrastruktur in Industrie und Gebäuden. Die vielen installierten physikalischen Schichten erleichtern die Aufrüstung des Kontrollnetzes oder der Automatisierung, indem die aktiven Elemente einfach ersetzt werden.

**Tabelle 2: Legacy BUS cables with 2 wires**

	RS485	Field. Found H1	Profibus DP	Profibus PA	CANBUS	BACNET
<b>Design</b>	1p SF/UTP	1p SF/UTP	1p SF/UTP	1p SF/UTP	1p SF/UTP	2 wires +GND
<b>Standard</b>	EI/TIA RS-485	IEC 61158-2	IEC 61158-2	IEC 61158-2	ISO 11898-2/11519-1	EIA/TIA RS-485
<b>IEC 61158 Type</b>	Type 3-B (Modbus)	Type 1	Type 3-A	Type 1	Type 3-B (Modbus)	
<b>Conductor (stranded copper)</b>	> 0.22mm <sup>2</sup>	> 0.8mm <sup>2</sup> (A), 0.32 (B), 0.13 (C)	> 0.34mm <sup>2</sup> (AWG22)	> 0.8mm <sup>2</sup>	0.25mm <sup>2</sup> to 0.75mm <sup>2</sup>	AWG22 (300m) to AWG16 (1200m)

## 2. METHODIK

Im Rahmen der Untersuchung der Rückwärtskompatibilität von SPE-Anwendungen hat die BU Multimedia Solutions im ersten Schritt die Konstruktionsaspekte der beiden zu vergleichenden Kabelgruppen (SPE und Legacy) bewertet. Da SPE-Kabel nur über ein Adernpaar verfügen hat der Kabelexperte auch nur BUS-Kabel mit einem Paar als Übertragungselement verwendet, beispielsweise RS485 und Foundation Fieldbus. Alle anderen mehrpaarigen Legacy-Kabel blieben unberücksichtigt. Im nächsten Schritt erfolgte die Überprüfung der Anforderungen der Normen an alte BUS-Kabel, um eine Grundlage für den Vergleich mit den SPE-Kabelnormen der IEC zu schaffen. Schließlich hat die BU Multimedia Solutions die elektrischen Eigenschaften wie Kapazität, ohmscher Widerstand und andere primäre elektrische Parameter verglichen, um herauszufinden, wie sich die Signale der alten Protokolle in SPE-Medien verhalten.

### 2.1 Bauweise

Die SPE-Kabel bestehen aus zwei isolierten, paarweise verdrehten Adern, die zum Schutz vor elektromagnetischen Störungen abgeschirmt sind (Folie plus Drahtgeflecht und Polymermantel). Im Grunde handelt es sich also um Kabel mit zwei Adern und einer Gesamtabschirmung.

**Tabelle 3: IEC standardization of Bus cables in IEC 61784**

CPF	Technology	IEC 61784-1, -2			CENELEC
		PHY IEC 61158-2	DLL	AL	
1	FF H1	Type 1	Type 1	Type 9	EN 50170-A1
3/1	PB DP	Type 3-A	Type 3	Type 3	EN 50254-3
3/2	PB PA	Type 1	Type 3	Type 3	EN 50170-A2
15	Modbus / RS485	Type 3-B			

Die korrespondierenden Legacy-Protokollkabel sind in **Tabelle 2** aufgeführt.

Im nächsten Schritt erfolgte die Analyse der Protokollanforderungen für das Kabel gemäß den Normen, um eine praktikable PHY (physikalische Schicht) für die Kommunikation zu schaffen – frei von Signalverzerrungen oder Rauschen über den Grenzwerten.

### 2.2 Anforderungen an Legacy-Protokollkabel

Die SPE-KaEs gibt zwei Normen, die die Mindestanforderungen an Legacy-Buskabel beschreiben: die IEC 61158-2 [4] und die IEC 61784-1 [5] für die verschiedenen aufgeführten PHYs. Ergänzend dazu gilt für RS-485 die von der TIA empfohlene Norm (RS) 485 [6] als Leitfaden. Die IEC 61784 regelt die Organisation der Protokolle nach den drei Schichten eines vereinfachten OSI-Modells: PHY (Physical Layer), DLL (Data Link) und AL (Application Layer), wobei sich die PHY an den Typen der IEC 61158-2 orientiert (**Tabelle 3**).

Tabelle 4: PHY types according to IEC 61158-2

Type	Type 1	Type 3-A	Type 3-B	Type 4	Type 18
Speed	31.25 Kbps	< 12 Mbps	< 1.5 Mbps	76.8 Kbps	< 10 Mbps
Impedance	100 Ω	150 Ω±15	115 Ω±15	100-120 Ω	110 Ω±15
Frequency	31.25 kHz	3-20 MHz	> 100 kHz	< 1 MHz	1-5 MHz
Attenuation	3dB/km	-	-	-	1.6 dB
Ohm. Resist	> 24 Ω/km	< 55 Ω/km	-	-	< 38 Ω/km
Conductor	> 0.8 mm <sup>2</sup>	> 0.34 mm <sup>2</sup>	> 0.22 mm <sup>2</sup>	> 0.22 mm <sup>2</sup>	2 AWG
Capacitance	-	< 30nF/km	< 60nF/km	-	< 60nF/km
Max link / speed	1900 m	12. km / 93 Kb 100 m / 12 Mb	1.2 km / 93 Kb 70 m / 1.5 Mb	1200 m	100 m x 100 Mbps 1200 m x 156 kbps
Typical use	PB-PA FFH1	PB DP	Modbus RS485	P-NET RS485	TPMI PhL-B

DLL und AL haben keinen Einfluss auf die Kabel. Um zu verstehen, was die Anforderungen sind, rücken die Physikalischen Schichten (PHY) in den Fokus. Tabelle 4 zeigt die verschiedenen PHY-Typen gemäß der IEC 61158 (Tabelle 4).

Durch die Kombination der Bus-Protokolle aus Tabelle 2 mit den IEC-Medientypen aus Tabelle 4 ergibt sich Tabelle 5. Sie gibt Richtwerte für den Vergleich mit den SPE-Kabelwerten (Tabelle 5).

Tabelle 5: Legacy buses and electrical requirements

	RS485	Field. Found H1 (Type A,B, C)	Profibus DP	Profibus PA	CANBUS	BACNET
Impedance Ω	115	100	150	100	120	115
Capacitance (max)	60 nF	80 nF	30 nF	80 nF	Typ 40 nF	100 nF
Ohmic Resistance [Ω/km]	98	< 24 (A), 56 (B), 132 (C)	< 55	< 24 (A), < 56 (B), < 132 (C)	< 70 (40 m) < 26 (1 km)	RS485 limits
Attenuation [db/km]	Not required	3 (A), 5 (B), 8 (C)	Not required	3 (A), 5 (B), 8 (C)	Not required	Not required
Frequency Range	31kHz-3MHz	31.25 – 39kHz	30 – 20MHz	31.25 – 39kHz	2 MHz	Acc RS485

### 3. SPE-KABELANFORDERUNGEN

Die Anforderungen an SPE-Kabel lassen sich den folgenden Normen entnehmen:

**ISO/IEC 11801-1 Amd 1 [7]:** Dort sind die generischen SPE-Kanäle definiert, die in die Klassen T1-A, T1-B und T1-C für 10, 100 oder 1000Mbps eingeteilt sind. T1-A ist weiter in vier Kanallängen unterteilt. Über die dargestellten Kanäle soll laut Norm [7] künftig die vollständige SPE-Kommunikation laufen. Aus den Gleichungen der Einfügungsdämpfung lassen sich bereits einige Leitergrößen bestimmen (Tabelle 6).

**ISO IEC 11801:9906 [8]:** Als Ergänzung steht in dieser Norm eine Kabeldefinition, die die IEEE-Anwendung mit den Kabelnormen der **IEC 61156 [9][10]** in Verbindung bringt (Tabelle 7).

Tabelle 6: ISO/IEC 11801-1 Amd 1 channels for SPE

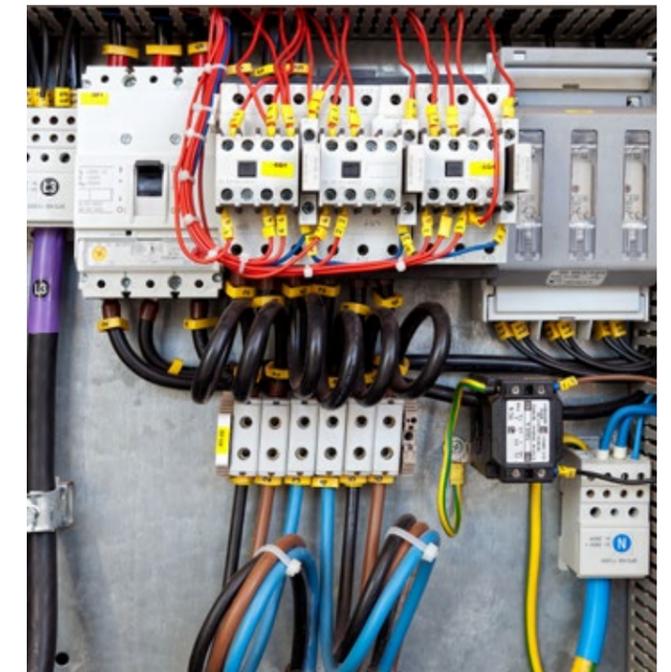
Class	Subclass	Channel length (m)	IEEE Application	Wire Gauge (acc IL formula)
T1-A	-1000	1000	20 MHz 802.3cg 10Base-T1	AWG18 AWG22 AWG23 AWG24
	-400	400		
	-250	250		
	-100	100		
T1-B	-	100	600 MHz / 802.3bw 100BASE-T1	AWG23
T1-C	-	100	1250 MHz / 802.3bp 1000BASE-T1	AWG23

Tabelle 7: ISO 11801-9906 channel definition

IEEE Application	Cable Std	Bandwith	Length
10 BASE-T1	IEC 61156-13, 14	20 MHz	T1L: 1000 m T1S: 15 m
100 BASE-T1	IEC 61156-11, 12	66 MHz	15 m
1000 BASE-T1	IEC 61156-11, 12	600 MHz	40 m

Nach [9][10] gibt es einige Parameter, die nicht von IEC 61158-2 [4] und IEC 61784 [5] abgedeckt werden, beispielsweise Gleichgewichtsmessungen (TCL) und Rückflussdämpfung.

Jedoch ist es notwendig, dass wir die DC-Parameter (ohmscher Widerstand, Kapazität) und HF-Parameter (Impedanz, Frequenzbereich und ggf. Dämpfung) von SPE-Kabeln (AWG18, AWG22, AWG23 und AWG26 = Patchkabel) mit den Legacy-Bus-Systemen aus Tabelle 5 vergleichen.



### 3.1 Niederfrequenzmessungen

Zur Bewertung der Impedanz- und Einfügungsdämpfungswerte unter 0,1 MHz wurden vier zugelassene SPE-Kabel von 31,25 kHz bis 100 kHz getestet. Damit lagen Bezugsgrößen für den Vergleich mit den Buskabeln vor (**Tabelle 8.**)

Tabelle 8: Low Frequency results for SPE cables

Characteristic	SPE AWG18	SPE AWG22	SPE AWG23	SPE AWG26
Zo @ 31.25kHz (Ω)	121	138	140	149
Zo @ 100kHz (Ω)	109	116	120	130
IL @ 39kHz (dB/km)	3.8	5.7	4.5	6.7

## 4. VISUALISIERUNG ÜBER AMPELSYSTEM

Um die Art und Weise der Kompatibilität der SPE-Kabel zu den Legacy-Kabeln darzustellen, hat die BU Multimedia Solutions folgende Kategorien mit den Farben der Ampel gewählt (**Abbildung 1**).

Abbildung 1: Traffic light system

SPE cable is fully compatible
SPE cable is compatible, but some restrictions appear
SPE cable is NOT compatible

SPE-Kabel, die der grünen Kategorie zugeordnet sind, haben volle Rückwärtskompatibilität zu den Legacy-Systemen. Die gelbe Kategorie bedeutet, dass das SPE-Kabel mit kleinen Einschränkungen kompatibel ist. Diese wirken sich nur geringfügig auf die Anwendung aus, beispielsweise in Form einer Reduzierung der maximalen Entfernung von 1200 auf 1000 Meter oder ein Absenken der maximalen Übertragungsrate von 10 auf 9 Mbps. Die typischen Anwendungen funktionieren, wenn nicht immer mit voller Leistung. Rot bedeutet, dass keine Kompatibilität besteht.

Die **Tabellen 9 und 10** zeigen die Ergebnisse der Untersuchung.

Tabelle 9: Backwards compatibility matrix- part 1

	RS485	Field. Found H1 (Type A, B, C)	Prfibus DB
Impedance Ω	115	100	150
Capacitance	< 60 nF	< 80 nF	< 30 nF
Ohmic Resistance (Ω/km)	< 98	< 24 (A), 56 (B), 132 (C)	< 55
Attenuation db/km	Not required	3 (Type A), 5 (Type B), 8 (Type C)	Not required
Frequency Range	31kHz-3MHz	31.25-39kHz	3-20MHz
Design	1p SF/UTP	1p SF/UTP	1p SF/UTP
Conductor	>0.22mm <sup>2</sup> (AWG24)	>0.8mm <sup>2</sup> (A), 0.32 (B), 0.13 (C)	> 0.34mm <sup>2</sup> (AWG24)
Back-Compat.	YES	YES but possibly some lenght restrictions	NO

Für RS485 und BACNET ist die Rückwärtskompatibilität für die drei SPE-Kabel AWG18, AWG 20 und AWG 22 groß, außer für das AWG26, das ohnehin ein Patchkabel ist, also nicht Teil der Hauptverbindungsstrecke. BACNET benötigt normalerweise drei Leiter. Unter Berücksichtigung des SPE-Kabelgeflechts als Erdungsleiter, lässt sich auch hier Kompatibilität feststellen.

Bei Fieldfound H1 (FF) und Profibus PA (PB PA) liegt die Einfügedämpfung 0,8 dB über dem Grenzwert. Dies kann zu Verbindungen führen, die kürzer als 1900 m sind (etwa 1500 m). Die Impedanzfehlanspassung für AWG23 und AWG26 liegt 8% über dem Grenzwert. Angesichts

Tabelle 10: Backwards compatibility matrix part 2

	Prfibus PA	CANBUS	BACNET
Impedance Ω	100	120	115
Capacitance	< 80 nF	Typ 40 nF	< 100 nF
Ohmic Resistance (Ω/km)	< 24 (A), 56 (B), 132 (C)	< 70 (40m), 26 (1km)	
Attenuation db/km	3 (Type A), 5 (Type B), 8 (Type C)	Not required	Not required
Frequency Range	31.25-39kHz	2 MHz	
Design	1p SF/UTP	1p SF/UTP	2 wires + GND
Conductor	>0.8mm <sup>2</sup>	>0.25mm <sup>2</sup> to 0.75mm <sup>2</sup>	AWG22 (300m) to AWG16 (1200m)
Back-Compat.	YES but possibly some lenght restrictions	YES but possibly some lenght restrictions	YES

der niedrigen Frequenz dieser CPF (31,25kbps) mit einer elektrischen Wellenlänge von 9600 Metern ist nicht zu erwarten, dass die Reflexionen kritisch sind und die Kommunikation unterbrechen oder ernsthaft beeinträchtigen. FF und PB PA zählen daher zur Kategorie Gelb. Bei Profibus DP sind die Impedanz- und Kapazitätsabweichungen zu hoch, so dass eine Einstufung in Kategorie rot erfolgte.

Bei CANBUS ist die Kapazität 12,5 % höher als die typischen CAN-Werte, und die Impedanz des SPE-Kabels liegt leicht unter der CAN-Untergrenze. Dadurch ist es möglich, dass das Taktsignal eine kleine Verzerrung in der Anstiegszeit des Signals aufweist. Dieser kleine Unterschied soll kein Hindernis sein und die Kommunikation nicht beeinträchtigen, kann aber die maximale Entfernung und/oder die maximale Übertragungsrate beeinflussen.

**Tabelle 11 und 12** fassen die Kompatibilität der SPE-Kabel zusammen.

Tabelle 11: Backward compatibility acc to SPE copper size- part 1

	RS485	FF H1	PB DP
SPE AWG 18	Compatible	IL	Zo, Cm mismatch
SPE AWG 22	Compatible	IL	Zo, Cm mismatch
SPE AWG 23	Compatible	IL, Zo mismatch	Zo, Cm mismatch
SPE AWG 26	Compatible	IL, Zo mismatch	Zo, Cm mismatch

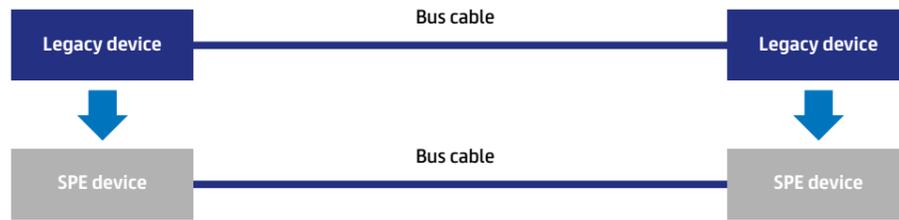
Tabelle 12: Backward compatibility acc to SPE copper size- part 2

SPE Cable	PB PA	CANBUS	BACNET
SPE AWG 18	IL	Cm, Zo mismatch	Compatible
SPE AWG 22	IL	Cm, Zo mismatch	Compatible
SPE AWG 23	IL, Zo mismatch	Cm, Zo mismatch	Compatible
SPE AWG 26	IL, Zo mismatch	Cm 25% higher	Compatible

Abbildung 2: Two approaches to deal with next gen devices

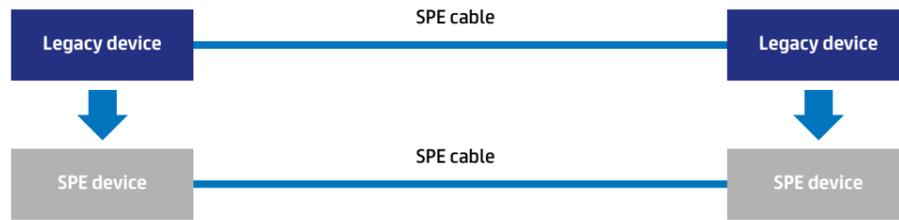
**Retrofitting**

Quick change of a Fieldbus device to a SPE device without changing the cable laid. SPE runs over the existing cable.



**New Build**

Using the same device with SPE cable using the possibility to change to an SPE device later.



**5. NACHRÜSTEN ODER NEU INSTALLIEREN?**

Nachrüsten oder neu installieren: Das ist die Frage? Wie aus Abbildung 2 ersichtlich, bleiben beim Nachrüsten die BUS-Kabel bestehen und nur die Feldbus-Systeme werden durch SPE-Systeme ersetzt. Die SPE-Kommunikation läuft über die weiter bestehenden Bus-Kabel. Alternativ besteht die Möglichkeit, SPE-Kabel zu installieren, die Legacy-Geräte weiterhin zu nutzen und später auf SPE-Geräte umzusteigen (Abbildung 2).

Die Frage ist entscheidend, denn sie bestimmt die nächsten Schritte und die Planung der Infrastruktur. Wenn die Nachrüstung funktioniert, können die installierten Kabel im Einsatz bleiben und nur die Geräte werden ausgetauscht. Wenn eine Nachrüstung jedoch nicht möglich ist, ist es ratsam, gleich mit einer SPE-Verkabelung zu starten. Indem die Infrastruktur frühzeitig auf die neue Gerätegeneration vorbereitet wird, lässt sich ein aufwendiger und abrupter Komplettumstieg der Infrastruktur vermeiden.

Der erste Schritt zur Bewertung, ob eine Nachrüstung sinnvoll ist, besteht darin, die Parameter aufzulisten, die durch SPE-Normen begrenzt sind, und sie mit den Parametern der Legacy-Buskabel zu vergleichen. Daraus ergibt sich folgende Übersicht (Abbildung 3).

Abbildung 3: Controlled parameters in legacy and SPE cables

BUS	SPE
Ohmic resistance / copper mm2	Ohmic resistance
Capacitance	Capacitance
Inductance	Fitted Impedance (1MHz-20MHz) min 801 pts
Mean Impedance (<1MHz)	Return Loss
Insertion Loss at 31.25kHz	Insertion Loss (1-20MHz)
	Balance: TCL
	ELTCTL
	Prop. Delay
	Delay Skew
	Transfer Impedance
	Coupling Attenuation

SPE-Kabel haben eine längere Liste von Anforderungen, die bei Legacy-Kabel nicht gemessen werden: Rückflussdämpfung, Einfügedämpfung bei hohen Frequenzen, etc. Die Buskabel müssen im Herstellungsprozess auf diese Eigenschaften nicht geprüft werden. Sie können zu SPE kompatibel sein oder auch nicht. In diesem Moment ist das nicht klar. Daraus lässt sich ableiten, dass der Fokus der Hersteller von Bus-Kabeln nicht darauf liegt, ihre Legacy-Kabel SPE-fähig zu machen.

Gute Werte bei der Rückflussdämpfung und TCL beispielsweise erfordern eine gute Prozesskontrolle und Toleranzen, die für die Herstellung von Legacy-Bussen nicht erforderlich sind und sich nicht so sehr auf den Frequenzbereich des Legacy-Busses (31kHz bis 3MHz) auswirken. Dasselbe gilt für die Abschirmung, die bei hohen Frequenzen auf unterschiedliche Weise bewertet wird, aber keine anspruchsvollen Anforderungen an die alten Kabel stellt (wenn überhaupt).

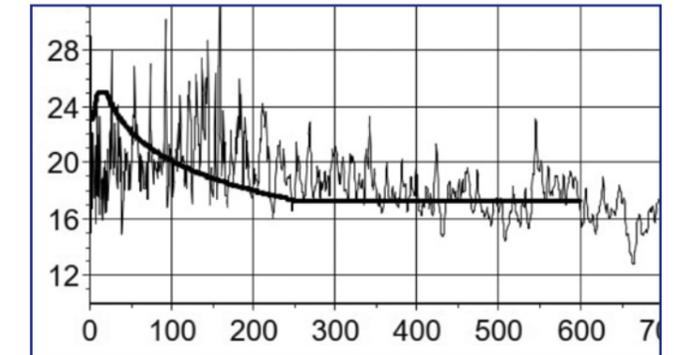
Dann gibt es noch die Impedanzabweichung zwischen Legacy-Kabeln und den SPE-Anforderungen. Einige ältere Buskabel haben eine Impedanz (Zo) von 120Ω im Bereich von 0,1 bis 3MHz.

- RS485: 120Ω bei f > 100kHz
- Field. Found / PB PA: 100Ω bei 31,25kHz, also etwa 85-90 bei 1MHz
- CANBUS: 120Ω bei 1MHz Profibus DP: 150Ω von 3-20MHz
- Ethernet SPE-Kabel: 100Ω ± 5 bei 0,1-20MHz (IEC 61156-13) oder 100MHz (IEC 61156-11).

$$RL = 10 \cdot \log \frac{(Z_o + 100)}{Z_o \cdot 100} = 10 \cdot \log \frac{(120 + 100)}{120 \cdot 100} \cong 17$$

Anhand der Formel für die Rückflussdämpfung (RL) lässt sich errechnen, dass der beste Wert 17 dB beträgt (Abbildung 4).

Abbildung 4: Return Loss Abbildung for bus cable as SPE



Darüber hinaus ist zu bedenken, dass SPE für 10BASE-T1 große Verbindungslängen wie 400 oder 1000 m erreichen kann – durch Verwendung von Zwischensteckern (bis zu 10 nach [7]), was die Impedanz-Fehlanpassungen entlang des Kabels erhöht. Ein schlechtes oder defektes RL-Legacykabel ist für diese kritischen Verbindungslängen nicht geeignet.

### 5.1 Praktische Ergebnisse von Legacy-Kabeln

Eine Gruppe von RS485- und CANBUS-Kabeln wurde als SPE-Kabel getestet (mit Grenzwerten für T1A-400, T1-A-1000 und T1-B), was erwartungsgemäß zu folgender Fehlertabelle führte (**Abbildung 5**):

Abbildung 5: Legacy bus failure as SPE transmission

	T1-A-400	T1-B	T1-A-1000
RS485 AWG24	IL, RL, TCL, ELTCTL	IL, RL, TCL, ELTCTL	N/A
CANBUS AWG24	IL, RL	IL, RL, TCL	N/A
CANBUS AWG22+18	TCL, RL (22)	TCL, Delay, IL, RL (22)	IL, RL (18)

Die Darstellung zeigt die Ergebnisse unserer SPE SINGLE-Kabel die mit den Legacy-Bus-von Weidmüller (Partner der SPE System Alliance) in den Paderborner Laboren realisiert worden sind. Die theoretischen Wert wurden durch die praktischen Tests in Paderborn bestätigt.

### 6. SCHLUSSFOLGERUNG/FAZIT

Mit SPE steht ein universeller und vielseitig einsetzbarer Standard für Ethernet-Verbindungen über Kupferdatenkabel in Industrie und Gebäudetechnik zur Verfügung, der mit einem Großteil bestehender Systeme und Protokolle kompatibel ist. Langfristig können bestehende Legacy-Systeme auf Feldebene dem technologischen Wandel nicht standhalten. Jedoch braucht die Migration Zeit und Investitionen. Die schrittweise Umrüstung auf zukunftssichere Lösungen ist für viele Firmen eine umsetzbare und vor allem finanzierbare Alternative. Gerade rückwärtskompatible SPE-Kabel, die mit wichtigen Legacy-Busprotokollen und -Geräten wie CAN, RS485, Foundation Fieldbus H1 und Profibus PA rückwärtskompatibel sind, ermöglichen eine sukzessive Nachrüstung.

### 7. DANKSAGUNG

Wir danken den Mitgliedern der Single Pair Ethernet Alliance für die technischen Diskussionen und die vorangegangene Evaluierung. Unser Dank gilt außerdem Ingeborg Dahl, Jürgen Müller und Lutz Hippe der BU Multimedia Solutions der Prysmian Group für die Unterstützung bei den SPE- und Bus-Kabelmessungen im Rahmen dieses White Papers.

### 8. LITERATUR

- [1] IEEE P802.3cg D2.1, IEEE Draft Standard for Ethernet – Amendment 5: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Mb/s Operation and Associated Power Delivery over a Single Balanced Pair of Conductors
- [2] ISO/IEC/IEEE 8802-3:2017/AMD1:2017, Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 3: Standard for Ethernet – Amendment 1: Physical layer specifications and management parameters for 100 Mb/s operation over a single balanced twisted pair cable (100BASE-T1)
- [3] ISO/IEC/IEEE 8802-3:2017/AMD4:2017, Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 3: Standard for Ethernet – Amendment 4: Physical layer specifications and management parameters for 1 Gb/s operation over a single twisted-pair copper cable
- [4] IEC 61158-2 Industrial communication networks – Fieldbus specifications – Part 2: Physical layer specification and service definition
- [5] IEC 61784-1, Industrial communication networks – Profiles – Part 1: Fieldbus profiles
- [6] TIA RS-485
- [7] ISO/IEC 11801 Amd 1 – Amendment 1 – Information technology – Generic cabling for customer premises – Part 1: General requirements
- [8] ISO/IEC 11801:9906 – Information technology – Generic cabling for customer premises – Part 9906: Balanced 1-pair cabling channels up to 600 MHz for single pair Ethernet (SPE), Ed 1.0, Feb 2020
- [9] IEC 61156-11, Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications – Part 11: Symmetrical single pair cables with transmission characteristics up to 600 MHz – Horizontal floor wiring – Sectional specification
- [10] 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
- [11] TR. 42.7-ANSI/TIA 568.5 Balanced Single Twisted-Pair Telecommunications Cabling and Components Standard, Draft 1.0a Feb. 2020

