

## APPLICATION NOTE

# SINGLE PAIR ETHERNET

### – T1 INDUSTRIAL VERBINDUNGSTECHNIK



#### EINFÜHRUNG

Einzelne Steckverbinder-Bauformen sind untrennbar mit einer bestimmten Anwendung verbunden und international genormt. Bekannte Beispiele dafür sind die RJ45-Steckverbinder für Ethernet, die HDMI oder DVI-Steckverbinder für die Videoübertragung oder die USB-Steckverbinder. Genormte Interface-Steckverbinder sind eine wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Markteinführung neuer Netzwerktechnologien wie Single Pair Ethernet (SPE). Nur mit genormten Schnittstellen ist es möglich, unterschiedliche Geräte in einem einheitlichen Datennetz zu verbinden. Am Beispiel der „Industrial Style“ SPE-Steckverbinder nach der internationalen Norm IEC 63171-6 wird hier die Auslegung nach den Vorgaben der zugehörigen IEEE 802.3 Normen und den Marktanforderungen der Industrie beschrieben.



## SPEZIFIKATION DER ELEKTRISCHEN KENNWERTE

### Nennspannung:

Für die reine Ethernet-Übertragung wird üblicherweise ein differentielles Spannungssignal von +/- 1V verwendet. Für die Festlegung der Nennspannung eines SPE-Steckverbinders ist jedoch auch die parallele Nutzung der beiden Adern für die Fernspeisung zu berücksichtigen. Das hierfür bei SPE verwendete Verfahren nennt sich Power over Data Line (PoDL). Ähnlich wie bei Power over Ethernet (PoE) ist die maximale Nennspannung 48 V DC und damit ergibt sich 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.

### Isolationsspannung:

Gemäß der Norm IEEE 802.3cr Anhang J sind die Isolationsanforderungen für Netzwerkkomponenten definiert. Bezogen auf die Verbindungstechnik wird eine Isolationsfestigkeit zwischen den Kontakten und dem Schirm von 1,5 kV (rms), 2250 V DC oder zehn 1,2/50-Impulsen 2,4 kV benötigt. Wie auch bei anderen Datensteckverbindern für die üblichen Anwendungen in der Gebäude- und Industrieverkabelung, beträgt die Spannungsfestigkeit von Kontakt zu Kontakt 1,0 kV (rms).

### Nennstrom:

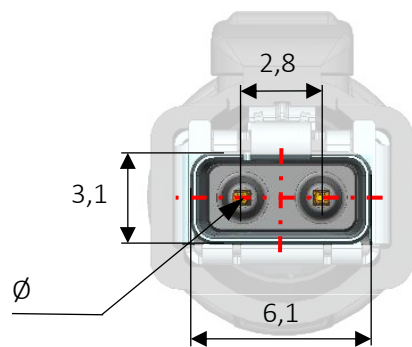
Für die Auslegung des Nennstromes sind ebenfalls die PoDL-Anforderungen maßgeblich. Im aktuellen Standard IEEE802.3bu ist in Tabelle 104-1 die maximale Einspeiseleistung mit 63,3 W angegeben, was einer max. Versorgungsleistung am Powered Device (PD) von 50 W entspricht. Dadurch ergibt sich bei einer minimal zulässigen Speisespannung von 48 V ein Strom von 1,36 A. Um ein zukunftsfähiges Interface zu spezifizieren, wurde ein Nennstrom 4 A 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 [bt]. 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.

### HF-Übertragungsparameter

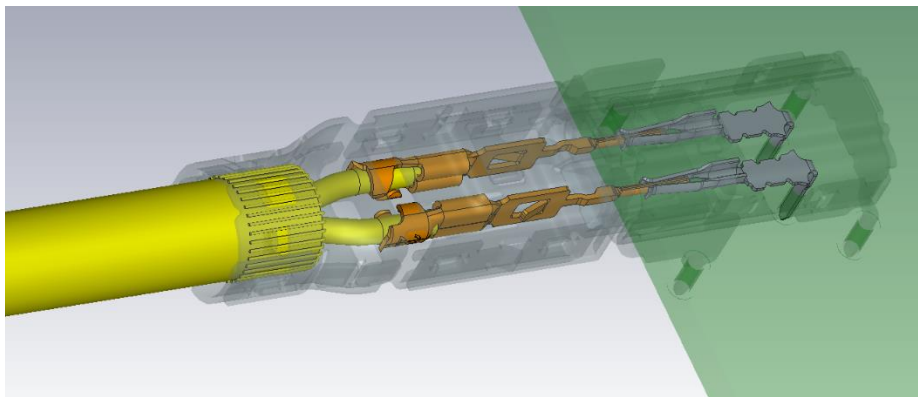
SPE nutzt zur Datenübertragung eine Vollduplex-Verbindung über ein differenzielles Aderpaar mit einer Impedanz von 100 Ohm. Um eine geringere Störempfindlichkeit insbesondere für den Einsatz in Elektrofahrzeugen zu realisieren, wurde für SPE eine geringere Kodierung mit PAM3 bis 1000BASE-T1 und PAM4 für 2,5/5/10GBASE-T1 gewählt. Dadurch erhöht sich im Vergleich zu „Mehrpaarigen Ethernet-Standards“ (MPE) der Bandbreitenbedarf enorm. So ist für 10GBASE-T1 eine Bandbreite von

4 GHz erforderlich (Vergleich bei 10GBASE-T nur 500 MHz). Damit steigen die HF-Anforderungen an die Kabel und Verbindungstechnik. Hierfür ist ein sehr symmetrischer Aufbau der Steckverbinder sowie der Kabel notwendig, um die HF-Anforderungen zuverlässig zu erfüllen. Aus diesem Grund 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.



**Bild 1: Symmetrischer Aufbau des Steckgesichtes nach IEC 63171-6 (Quelle: HARTING)**

Ebenso sind beide Kontakte parallel zur Leiterplatte und nebeneinander angeordnet. Dadurch sind die Laufzeiten in beiden Signalwegen identisch und Laufzeitunterschiede werden minimiert (siehe Bild 2).



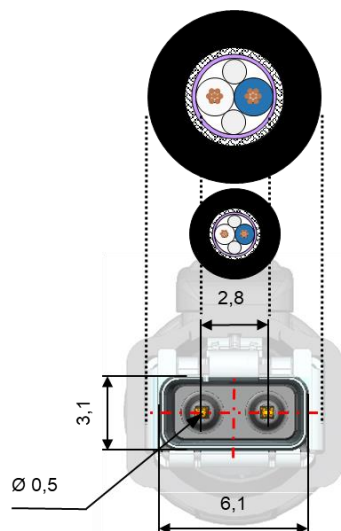
**Bild 2: Simulationsmodell mit symmetrischem Aufbau des Steckgesichtes nach IEC 63171-6 (Quelle: HARTING)**

Durch diese Kontaktanordnung sind die parasitären Induktivitäten und Kapazitäten von beiden Kontaktpfaden identisch. Diese optimale Symmetrie des Übertragungskanals ist eine existentielle Voraussetzung für die differentielle Datenübertragung für Datenraten bis 10Gbit/s.

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

Das SPE-Interface nach IEC 63171-6 wurde unter Berücksichtigung der beschriebenen elektrischen Parameter, mit ausreichender Reserve für zukünftige höhere Bandbreiten und Anforderungen hinsichtlich Fernspeisung via PoDL ausgelegt. Für den industriellen Einsatz wurden die im Markt akzeptierten und weit verbreiteten M8 und M12 IP65/67-Gehäusebauformen verwendet. Dabei wurde auch großer Wert auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen dem Markttrend nach miniaturisierten Schnittstellen und hoher Robustheit gelegt. Die gute Handhabbarkeit und sowie die optimale Auslegung des Anschlussbereiches passend zu den zu verschiedenen Ader- und Kabeldurchmessern, standen klar im Fokus.

Diesen Konstruktionszielen folgend, wurden als Kontaktsystem 0,5 mm Kontakte mit einem Kontaktabstand von 2,8 mm gewählt. Der Kontaktabstand ist mit den notwendigen Kabelquerschnitten abgestimmt. Für die kurzen Übertragungsstrecken bei 100BASE-T1 und 1000BASE-T1 werden AWG 28/26 bzw. AWG 22 Leiter mit Aderdurchmessern von ca. 1 mm bzw. ca. 1,6 mm Durchmesser eingesetzt. Für die 10BASE-T1L mit Reichweite 1.000 m werden jedoch AWG 16/18 Leiter mit ca. 2 mm Aderdurchmesser benötigt und somit ist der 2,8 mm Kontaktabstand optimal. Die größeren Reichweiten und Datenraten sind nach IEEE 802.3 nur mit geschirmten Übertragungsstrecken möglich.



**Bild 3: Größenvergleich Steckgesicht und SPE Kabel AWG 26 (unten) bzw. AWG 18 (oben)**

Aus diesem Grund und um auch in rauen Industrieumgebungen eine sichere Übertragung zu gewährleisten, wurde konsequent ein geschirmter Aufbau umgesetzt. Dabei dienen die Schirmbleche der IP20 Version auch gleichzeitig der robusten mechanischen Verriegelung. Mit dem metallischen

Rasthebel wird auch das beim RJ45 oft bemängelte Problem mit den defekten Verriegelungen vermieden.

In industriellen Anwendungen haben sich M8 und M12 Rundsteckverbinder etabliert. Dementsprechend wurde das neue SPE-Steckgesicht als einheitlicher „Datencontainer“ 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 die 1.000 m 10BASE-T1L Übertragung aufzunehmen. In allen Bauformen wird damit das gleiche Steckgesicht verwendet. So können auch IP20 Steckverbinder zur Parametrierung oder für Prüfungen mit den IP65/67-Schnittstellen verbunden werden. Durch die Nutzung dieses genormten SPE-Datencontainers ist auch die Integration dieses IEC 63171-6 Steckgesichts in andere Bauformen einfach möglich.



**Bild 5: T1 Industrial SPE Steckverbinder nach IEC 63171-6 als IP20 Ausführung (Quelle: HARTING)**

Unten abgebildet ist eine Auswahl der unterschiedlichen Bauformen in Schutzart IP65/67 und IP20 zu sehen. Auf Basis der IEC 63171-6 ist ein vollständiges Lösungssortiment mit Leiterplattenbuchsen, Steckverbindern, Wanddurchführungen und Systemkabeln realisierbar.



**Bild 6: T1 Industrial 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. / untere Reihe v.l.n.r.: M12 Buchse mit Schraub- und PushPull-Verriegelung, M8 Buchse mit SnapIn- und PushPull-Verriegelung, gewinkelte IP20 Leiterplattenbuchse) (Quelle: HARTING)**

Da die Fernspeisung via PoDL nur als Punkt zu Punkt Verbindung funktioniert und eine Reihe zusätzlicher Komponenten und Kosten benötigt, ist es insbesondere für Geräte in Schutzart IP65/67, wie z. B. Sensoren sinnvoll, die Stromversorgung einfach über einen separaten Stromkreis zu realisieren. Dazu werden hybride Steckverbinder wie der unten abgebildete M8 Hybrid Steckverbinder verwendet. Zusätzlich zu den beiden SPE-Datenkontakten sind 2 Powerkontakte für 8 A / 60 V DC zur Stromversorgung vorhanden. So kann die Verkabelungen auch in Linie realisiert werden, da die Stromversorgung von Gerät zu Gerät durchgeschleift werden kann.



**Bild 7: Hybrider M8 SPE Steckverbinder nach IEC 63171-6 (Quelle: HARTING)**

## ÜBERSICHT DER BAUFORMEN UND TYPISCHE ANWENDUNGSBEREICHE

In der IEC 63171-6 werden eine ganze Reihe unterschiedlicher Bauformen beschrieben. Mit diesem praxisingerechten Lösungsportfolio lassen sich die vielfältigen industriellen Anwendungen realisieren und auch für andere Anwendungsfelder von der Gebäudeautomatisierung bis zum Einsatz im Rechenzentrum sind passende Schnittstellen verfügbar.

Bauform	Typische Anwendungsfelder
 <p><b>T1 Industrial IP20</b></p>	Im Schaltschrank und überall, wo keine hohen Anforderungen an die Schutzart notwendig sind.
 <p><b>T1 Industrial M8 SnapIn Verriegelung</b></p>	Kleine und kostenoptimierte Geräte in IP65/67 Umgebungen, wie Sensorik, LED-Beleuchtungen u.ä.
 <p><b>T1 Industrial M8 PushPull Verriegelung</b></p>	Kleine Geräte in IP65/67 Umgebungen, die durch die PushPull-Verriegelung schnell und einfach angeschlossen und gewechselt werden können, wie Sensorik o.ä.
 <p><b>T1 Industrial M8 Schraubverriegelung</b></p>	Kleine Geräte in IP65/67 Umgebungen, wie Sensorik o.ä.

 <p><b>T1 Industrial M12 Schraubverriegelung</b></p>	<p>Klassische Feldgeräte in IP65/67 Umgebungen, wie Sensorik, IO-Verteiler und Aktuatoren o.ä.</p>
 <p><b>T1 Industrial M12 PushPull Verriegelung</b></p>	<p>Klassische Feldgeräte in IP65/67 Umgebungen die durch die PushPull-Verriegelung schnell und einfach angeschlossen und gewechselt werden können, wie Sensorik, IO-Verteiler und Aktuatoren o.ä.</p>
 <p><b>T1 Industrial M8 Hybrid Schraubverriegelung</b></p>	<p>Kleine Geräte in IP65/67 Umgebungen mit höherem Strombedarf, wie Sensorik und Aktuatoren o.ä.</p>

Tabelle 1: Übersicht der IEC 63171-6 Bauformen und typische Anwendungsfelder

## HYBRIDE M12 SPE STECKVERBINDER

Insbesondere für den Anschluss von Geräten in industriellen Anwendungen werden Anschlusslösungen gefordert, die sowohl Datenkommunikation und Stromversorgung mit nur einem Kabel und nur einer Schnittstelle ermöglichen. Hybride Schnittstellen mit einem separaten SPE-Einsatz und zusätzlichen Kontakten für die Stromversorgung in der vielfach bewährten M12-Bauform sind hier die ideale Lösung.

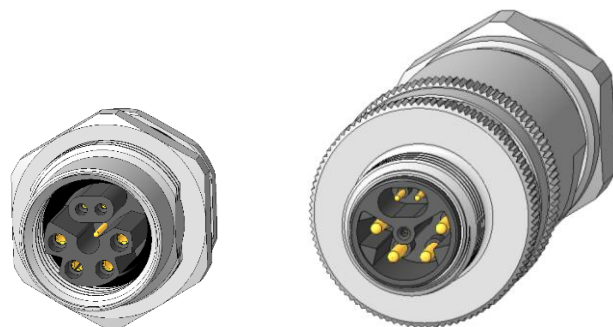
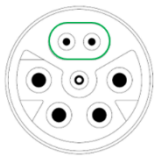

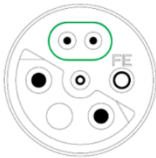

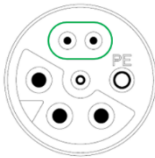




Bild 8: Hybrider M12 SPE Steckverbinder nach IEC 63171-7 (Quelle: TE)

Um die Anforderung nach unterschiedlichen Spannungsanforderungen der Geräte zu erfüllen, werden in der IEC 63171-7 unterschiedliche Kodierungen definiert.

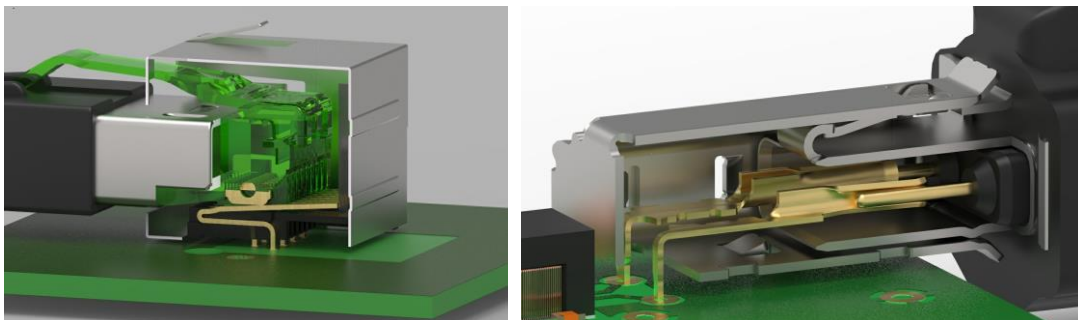
POWER	Single / Dual Phase / DC			3-Phase	Single / Dual Phase / DC		
	< 50 VAC ≤ 63 VDC			≤ 600V AC ≤ 600V DC	≤ 480V AC.	≤ 50 VAC ≤ 63 VDC	≤ 600V AC ≤ 600V DC
	12A Max.	2x 8A Max.	8A Max.	8A Max.	8A Max.	16A Max.	16A Max.
	Type I	Type II	Type III	Type IV	Type V	Type VI	Type VII
MALE							

**Tabelle 2: Übersicht der IEC 63171-7 Kodierungen**

Damit sind die M12 Hybrid Schnittstellen beispielsweise ideal für DC-Antriebe und Servomotoren, als auch für kleine Drehstromantriebe und viele weitere Geräte geeignet.

## VERGLEICH T1 INDUSTRIAL MIT DEM KLASSISCHEN RJ45

Die weltweit am häufigsten eingesetzte Schnittstelle für 2- oder 4-paarige Ethernet Systeme (MultiPair Ethernet = MPE) ist der RJ45. Weithin bekannte Schwachstellen des RJ45 sind das für Kontaktunterbrechungen anfällige Kontaktsystem und der oft fragile Verrastungshebel aus Kunststoff. Dementsprechend wurde beim Design des T1 Industrial genau auf diese Eigenschaften ein besonderes Augenmerk gerichtet. Es wurde ein klassisches Stift- Buchse-Kontaktsystem verwendet, wodurch pro Kontakt immer zwei Kontaktpunkte realisiert sind. Die Verriegelung ist Teil des 360° Schirmgehäuses und robust aus Metall ausgeführt.



**Bild 9: Detailansichten Verriegelung und Kontaktsystem RJ45 und T1 Industrial (Quelle: WE)**

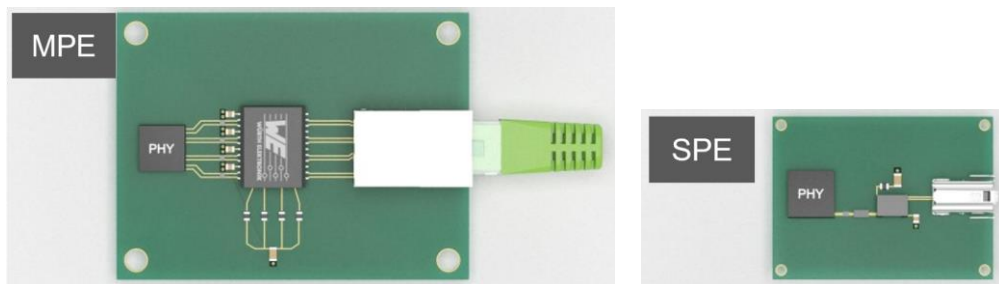
## Baugrößenvergleich RJ45 und T1 Industrial

Die Baugröße der T1 Industrial IP20 Schnittstelle ist circa 50% kleiner als die des RJ45 und somit lässt sich die Portdichte, beispielsweise bei Switches, verdoppeln.



**Bild 10: Designstudie Multiport SPE-Buchse**

Auch der Platzbedarf auf der Leiterplatte reduziert sich bei SPE im Vergleich zu MPE. Dabei ist nicht nur der verringerte Platzbedarf für die reine Buchse relevant, sondern auch die im Vergleich zu MPE nur einfach benötigten magnetischen Komponenten. Somit kann der Platzbedarf auf ca. 30% verringert werden.

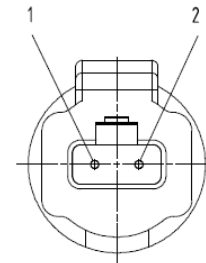


**Bild 11: Baugrößenvergleich MPE und SPE auf der Leiterplatte (Quelle WE)**

## ANHANG 1: ADERNFARBEN UND PINBELEGUNG

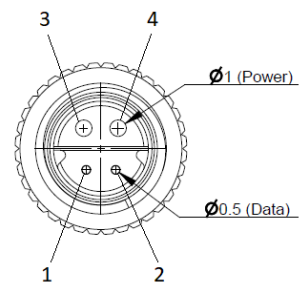
Kontakt	PMA Signal	PoDL	Aderfarbe
1	BI_DA+	PoDL+	Blau
2	BI_DA-	PoDL-	Weiß

Tabelle 3: Kontaktbelegung SPE-Steckverbinder nach IEC 63171-6



Kontakt	Signal	PoDL	Aderfarbe
1	BI_DA+	PoDL+	Blau
2	BI_DA-	PoDL-	Weiß
3	V <sub>CC</sub> (+)	-	Rot
4	V <sub>EE</sub> (GND/-)	-	Schwarz

Tabelle 4: Kontaktbelegung Hybrider M8 SPE Steckverbinder nach IEC 63171-6





<b>DOKUMENT INFORMATIONEN</b>		
<b>Dokument:</b>	2024-06_SPE-APPNOTE_CONNECTIVITY_V11-DE.DOCX	
<b>Datum:</b>	2024-06-30	<b>Version:</b> 1.1

### URheberRECHTSHINWEIS

Dieses Dokument ist geistiges Eigentum des SPE Industrial Partner Network e.V., welchem auch das ausschließliche Urheberrecht daran zusteht. Inhaltliche Änderungen, die Vervielfältigung oder der Nachdruck dieses Dokumentes ist nur mit der ausdrücklichen Erlaubnis des SPE Industrial Partner Network e.V. gestattet.

Der SPE Industrial Partner Network e.V. behält sich das Recht vor, dieses Dokument vollständig oder teilweise zu ändern. Alle Marken- und Produktnamen sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Titelhälter.

### KONTAKT

SPE Industrial Partner Network e.V.

Weher Straße 151

D-32369 Rahden

Germany

[info@single-pair-ethernet.com](mailto:info@single-pair-ethernet.com)

[www.single-pair-ethernet.com](http://www.single-pair-ethernet.com)