



Ein Fachbeitrag der Single Pair Ethernet System Alliance

Authors:

Simon Seereiner	Weidmüller Interface GmbH & Co. KG
Frank Gudat	Kyland Technology EMEA GmbH
Matthias Gerber	Reichle & De-Massari AG
Bruno Escher	Draka Comteq Germany GmbH
Stephan Schreiner	Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG
Sascha Lambauer	Weidmüller Interface GmbH & Co. KG
Martin Miller	Microchip
Ralf Tillmanns	Weidmüller Interface GmbH & Co. KG



Einführung	1
Ziel des Whitepapers	1
Übersicht Multidrop-Technologien heute	3
Motivation für Multidrop	3
Welche Multidrop Busse werden heute eingesetzt	4
MP-Bus	4
ASI-BUS	4
AUTBUS Multidrop (IEC 61784-1-22 Industrial networks – Profiles 22)	5
Einsatzgebiete für Multidrop mit Single Pair Ethernet	6
Automobil-Industrie	6
Industrial EtherNet/IP In-cabinet Bus	6
Aufzug	7
Gebäude-Infrastruktur	7
Ladestation für Elektrofahrzeuge	7
Parkraumbewirtschaftung	7
Technologien für 10BASE-T1S Multidrop	8
PHY-Implementierung von Multidrop	8
Steckverbinder für Single Pair Ethernet	9
IEC-normierte Steckverbinder-Varianten	10
Multidrop-Bus-Topologien	10
Anforderungen an Multidrop-Steckverbinder	11
Impedanz	11
Spannungsfestigkeit	11
Übertragungstechnische Eigenschaften	12
Return Loss (Rückflussdämpfung)	12
Kopplungsdämpfung (Coupling Attenuation)	13
Powering von Multidrop-Systemen	14
Standardisierung	15
10BASE-T1S Multidrop (IEEE 802.3 cg)	15
10 Mbit/s Single Pair Multidrop Segments Enhancement (IEEE P802.3da)	15
Ausblick	15



Einführung

IP-basierte Multidrop-Netze bieten zahlreichen Industrien interessante Möglichkeiten, IP-basierte Geräte in ein Ethernet-Netzwerk einzubinden. So hat zum Beispiel die IEEE im November 2019 den 10BaseT1S-Standard verabschiedet. Das Suffix „S“ steht für „Short Range“. Dieser Standard arbeitet im Halbduplex-Verfahren und kann sowohl in Point-to-Point- als auch in Multidrop-Anwendungen betrieben werden. Er definiert eine minimale Länge von 25 m mit 10 cm langen Stichleitungen.

Ein Vorteil dieser Netzwerk-Topologie besteht darin, dass die Netzwerkknoten keinen aktiven Ethernet-Switch benötigen. Das Arbitrierungsschema PLCA (Physical Layer Collision Avoidance) sorgt dafür, dass es in der Busleitung zu keinen Datenkollisionen kommt. Die Norm sieht mindestens acht Stichleitungen vor, es können aber weit mehr sein.

Zusätzlich ist in der internationalen Standardisierung derzeit das Projekt IEC NP 61158-1 (Type 28 AUTBUS) in Arbeit. Der dort beschriebene Multidrop-Bus wird es ermöglichen, mit einer Bandbreite von 100 Mbit/s bis zu 256 Knoten in einem Längensegment von bis zu 500 m zu betreiben.

Ziel des Whitepapers

Dieses Whitepaper richtet sich an Produktmanager und Entwickler von Single-Pair-Ethernet-Infrastrukturkomponenten, die sich zum Thema Multidrop-Single-Pair-Ethernet informieren möchten. Es erläutert umfassend das Konzept der Multidrop-SPE-Technologie und deren Anwendungsfälle. So vermittelt es einen Überblick über die derzeitige Technologie, die adressierten Anwendungsfälle und den aktuellen Stand bei Steckverbindern und Standardisierung.

Übersicht Multidrop-Technologien heute

Motivation für Multidrop

Multidrop-Netzwerke integrieren viele Netzwerk-Teilnehmer auf engem Raum. Diese Netzwerke bieten Vorteile in Automotive-Anwendungen sowie in der Industrie- und Gebäudeautomatisierung.

Die Technologie kommt ohne Ethernet-Switches aus, da alle Teilnehmer an einen Bus angeschlossen sind. Einer dieser Kommunikationsteilnehmer auf dem Bus ist auch gleichzeitig als Server definiert. Dieser hat die Aufgabe, Datenkollisionen auf dem Bus zu verhindern. Das wird durch die Physical Layer Collision Avoidance (kurz PLCA) ermöglicht.

Dazu öffnet der Server ein Zeitfenster von typischerweise 25µs für den ersten Teilnehmer. Innerhalb dieses Fensters darf der Knoten Daten senden (transmit opportunity). Lässt er die Zeitspanne verstreichen, bekommt der nächste Teilnehmer im Netzwerk die Möglichkeit, innerhalb von 25µs zu senden. Dieses Prozedere wird bis zum letzten Knoten realisiert, danach ist der Zyklus abgeschlossen und alles beginnt von vorne.

Der Vorteil dieser Methode ist, dass mehrere Teilnehmer ohne Switches innerhalb eines Netzwerks kommunizieren können. Das ermöglicht sehr kompakte Strukturen beim Aufbau der Netzwerke bei gleichzeitig geringen Kosten für die Infrastruktur. Die Technologie wird zukünftig in Fahrzeugen eingesetzt, um viele unterschiedliche Geräte platz- und gewichtssparend in ein transparentes Netzwerk einzubinden.



Multidrop bei Verkaufsautomaten

Der Multidrop-Bus (MDB) ist ein von der Automatenindustrie verwendetes Multidrop-Bus-Computer-Netzwerkprotokoll, das von der American National Automatic Merchandising Association veröffentlicht und von der European Vending Association sowie dem European-Vending-Machine-Herstellerverband unterstützt wird.

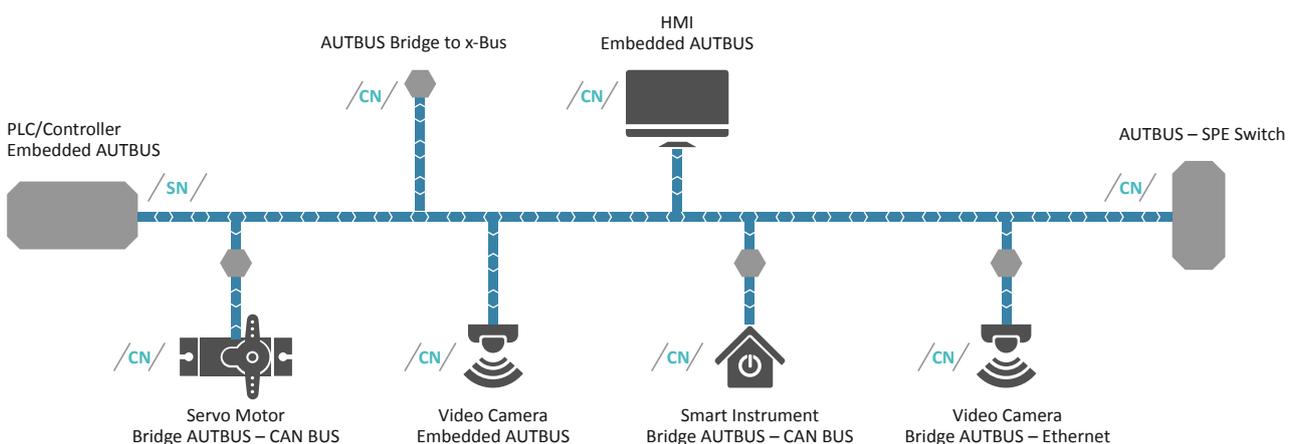
Die physische Verbindung wird als serieller Bus mit einer festen Datenrate von 9600 Baud realisiert. Der Multidrop-Bus wird zum Beispiel in Münzgeldwechslern, Banknotenlesern, bargeldlosen Zahlungssystemen, Getränke- und Zigarettenautomaten verwendet.

AUTBUS Multidrop (IEC 61784-1-22 Industrial networks - Profiles 22)

AUTBUS ist ein von Kyland Technology neu entwickelter industrieller Breitband-Feldbus. Dabei handelt es sich um eine einpaarige Multidrop-Lösung, die auf statischer/dynamischer Zeitsteuerung und Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) basiert. OFDM wurde bisher vor allem in der drahtlosen Kommunikation eingesetzt. AUTBUS ist breitbandig, deterministisch und weist eine geringe Latenz auf.

Mit diesen Eigenschaften soll AUTBUS nun auch in der industriellen Kommunikation etabliert werden. Die unternehmenskritischen deterministischen Herausforderungen in diesem Bereich können in einer Vielzahl von industriellen Anwendungen gelöst werden. Durch die Tunneling-Technologie kann AUTBUS IPV4/IPV6-Daten über ein Zweidrahtkabel übertragen, gleichzeitig ermöglicht es die Übertragung von zeitkritischen und nicht zeitkritischen Daten als virtuellen Bus. Mit einem qualifizierten Zweidrahtkabel sind bis zu 254 Multi-Drop-Verbindungen über eine Entfernung von bis zu 500 m bei einer Übertragungsgeschwindigkeit von 100 Mbit/s möglich. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Whitepapers befindet sich der AUTBUS noch in der Standardisierungsphase (geplante Freigabe Ende 2022) und ist unter IEC 61158 Typ 28 und IEC 61784 CPF22 gelistet. Mögliche Einsatzgebiete sind Fabrikautomation, Busse und Bahnen, Gebäudeautomation, Verkehrsleitsysteme und Videoübertragung.

AUTBUS Multidrop Gateways extern und embedded



Dieses Normungsprojekt (zusammen mit den geplanten Begleitprojekten IEC 61158-3-28, IEC 61158-4-28, IEC 61158-5-28 und IEC 61158-6-28) definiert einen neuen Breitband-Feldbustyp mit dem Titel „Autbus“.



Einsatzgebiete für Multidrop mit Single Pair Ethernet

Automobil-Industrie

Mittlerweile haben nahezu alle Automotive-OEMs die Single-Pair-Ethernet-Technologie mit 100 Mbit/s oder mehr in ihren Serienfahrzeugen eingeführt. Allerdings zeigt sich, dass nur etwa 7 Prozent der Knoten eine Datenrate im Bereich 100 Mbit/s und darüber hinaus benötigen, während 93 Prozent der IVN-Knoten (IVN: in-Vehicle Network) mit Datenraten unterhalb von 10 Mbit/s versorgt werden. In diesem Bereich konkurriert der neue 10BASE-T1S SPE-Standard mit etablierten, kostenoptimierten Systemen wie CAN, FlexRayTM und LIN.

Die Einführung von Multidrop bei 10BASE-T1S kann allerdings die Netzwerk-Komplexität und somit auch die Kosten im Vergleich zu einer sternförmigen Verdrahtung erheblich reduzieren. Weiteres Potenzial zur Kostensenkung bietet die optionale Integration des MACs in den Phy-Chip, was die Systemkosten weiter senkt.

Damit ist der 10BASE-T1S ein weiterer Baustein für Automotive-Ethernet im unteren Datenratenbereich, der eine Skalierbarkeit der Datenrate von 10 Mbit/s bis in den zukünftigen Multi-Gigabit-Bereich bietet. Das System ermöglicht eine Ethernet-basierte End-to-end-Kommunikation ohne zusätzliche Gateways für Teilnehmer mit geringeren Datenraten. Sie lässt sich optimal in eine Zonenarchitektur des Fahrzeugs einbinden und kann im Bereich Datensicherheit auf Technologien wie MACSec, IPsec und D/TLS zugreifen. Multidrop bietet zudem eine einfache und leicht erweiterbare Möglichkeit, Steuergeräte, Sensoren und Aktoren – die eventuell nur als Sonderausstattung für das Fahrzeug verfügbar sind – in den Kabelbaum mit aufzunehmen.

Mögliche Anwendungen für Multidrop im Fahrzeug sind aufgrund der unterschiedlichen Datenraten beispielsweise Ultrakurzstreckenradare, Ultraschallsensoren, Audiodienste oder direkte Steueraufgaben im Antriebsstrang. Auch eine Verkabelung etwa innerhalb und zu einer Tür mit Fensterhebern, Einstellungen für Spiegel und Zentralverriegelung gehört zu den vielen denkbaren Anwendungsfällen.

Industrial EtherNet/IP In-cabinet Bus

Das EtherNet/IP In-Cabinet Bus-System verbindet Komponentengeräte – Drucktaster, Anzeigegeräte, Überlastschutzeinrichtungen etc. – im Schaltschrank. Es ersetzt die feste Verdrahtung zwischen den Geräten durch eine zusammengesetzte Netzwerkverkabelung. Die Vorteile sind eine schnelle Montage, programmierbare Funktionsänderungen und „intelligente“ Geräte, die mehr Informationen für die Wartung und Prozessoptimierung liefern.

Das System verwendet einen Single-Pair-Ethernet-Bus, was die Komplexität und die durchschnittliche Anzahl der Geräteschnittstellen reduziert. Netzstrom und Schaltstrom sind in einem mehradrigen Kabel gebündelt, die Montage erfolgt über Schneidklemmsteckverbinder. Das vereinfacht die Verkabelung und die Montage.

Die relativen Positionen der Geräte auf dem Buskabel können lokalisiert werden, sodass keine manuellen Wahlschalter oder direkt an den Geräten angebrachte Konfigurationswerkzeuge nötig sind, was die Komplexität der Geräte und der Installation senkt.

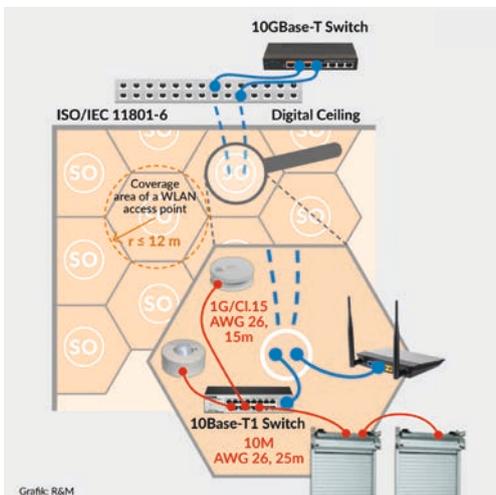
Diese Buslösung reduziert die Schnittstellenkomponenten durch den Single-Pair-Ethernet-Standard IEEE Std 802.3cg/10BASE-T1S. Somit können Multidrop-Verkabelungen mit einer Schnittstelle pro Gerät und einem Switch-Port, der viele Geräte unterstützt, aufgebaut werden.

Die Netzwerk- und Steuerstromversorgung über ein einziges Kabel vermeidet parallele Verlegungen und sorgt für weitere Kosteneinsparungen. Außerdem können mehr Geräte Diagnose-, Prognose- und Asset-Identity-Informationen liefern, was ungeplante Ausfallzeiten verhindern und die Effizienz von Anlagen verbessern kann.



Aufzug

Auch im Bereich von Aufzugs- und Rolltreppensystemen bietet die Multidrop-Technologie viele Vorteile. Bei Aufzugssystemen beispielsweise wird immer mehr Sensorik im Schacht verbaut. Gleichzeitig werden die Fahrgastkabinen größer und somit der verfügbare Platz im Schacht kleiner. Alle Geräte, die für die Sicherheit und den Komfort in einem Aufzugssystem verantwortlich sind, sollen zukünftig in ein Netzwerk eingebunden werden können. Multidrop-Systeme können den Verdrahtungsaufwand innerhalb von Aufzugsschächten deutlich reduzieren. Ein weiterer Vorteil: Funktionalitäten wie zusätzliche Kameras, LED-Leuchten oder Sicherheitsschalttafeln können sehr einfach hinzugefügt werden. Alle Geräte können dann in ein transparentes, IP-basiertes Netzwerk eingebunden werden.



SPE in der Gebäudeautomation

Gebäude-Infrastruktur

In intelligenten Gebäuden gibt es zahlreiche Einsatzgebiete für das SPE-Multidrop-Protokoll. Bei existierenden Digital-Ceiling-Lösungen etwa kann ein geeigneter SPE-Switch direkt bei der Service-Dose platziert werden und dort Ethernet-Signale auf SPE umwandeln.

Vor allem da, wo Anwendungen in einer Reihe mit regelmäßigen Abständen installiert sind, eignet sich SPE-Multidrop mit einer Geschwindigkeit von 10 Mbit/s. Zum Beispiel sind Jalousiensteuerungen an einer Fensterfront prädestiniert für den Einsatz von SPE-Multidrop.

Ladestation für Elektrofahrzeuge

Mit dem Vormarsch der Elektromobilität wächst die Anzahl von Ladestation für Elektrofahrzeuge auf öffentlichen Flächen. Dafür werden nicht nur Stromleitungen, sondern auch eine kabellose oder kabelgebundene Kommunikation benötigt. Etwa für die Zugangskontrolle für das Laden, die Abrechnung oder die Fernwartung. Eine Multidrop-Lösung eignet sich hier besonders für die einfache Vernetzung von Ladestationen, für zukünftige Erweiterungen und, wenn gefordert, auch für die Anbindung von weiteren Geräten an die Ladestation.

Parkraumbewirtschaftung

Bezahlte Parkflächen verfügen in der Regel über Ein- und Ausfahrstationen mit Schranken, Kassensystemen und auch Videokameras. Bei moderneren Parkflächen sind außerdem Sensoren für die Ermittlung der Parkplatzbelegung und Signalanlagen für die Verkehrsleitung installiert. Zukünftig werden unter anderem Services wie die Parkplatzreservierung per App und die bargeldlose Bezahlung der Parkgebühren angeboten.

Mit einer Multidrop-Lösung können bestehende Parkflächen modernisiert werden, da Geräte wie Videokameras, Parksensoren, Parkreservierungssysteme etc. unkompliziert angebunden werden können.



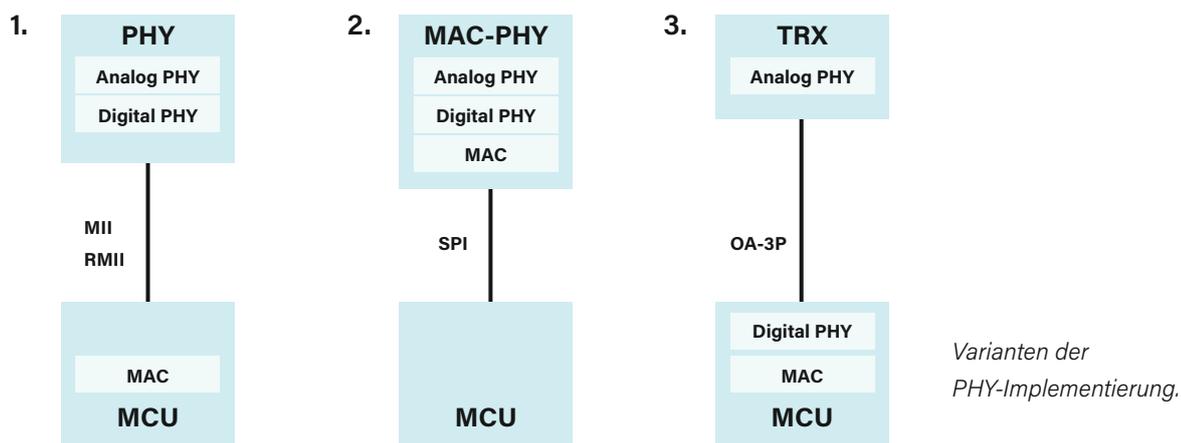
Technologien für 10BASE-T1S Multidrop

10BASE-T1S PHYs, die Vollduplex-Punkt-zu-Punkt-Betrieb unterstützen, können mit einer effektiven Datenrate von 10 Mbit/s in jeder Richtung gleichzeitig betrieben werden. Sie unterstützen bis zu vier Inline-Anschlüsse und bis zu einer Reichweite von mindestens 15 m.

Zusätzlich kann der 10BASE-T1S-PHY mit Halbduplex-Kommunikation auf einem Mischsegment unter Verwendung eines einzelnen symmetrischen Leiterpaares arbeiten, das bis zu 8 PHYs zu einem Trunk mit einer Reichweite von bis zu mindestens 25 Metern verbindet. Die PHYs können in-line mit dem Trunk oder am Ende von Stichleitungen mit einer Länge von bis zu 10 cm angebracht werden. Die effektive Gesamtdatenrate beträgt 10 Mbit/s und wird von den Knoten gemeinsam genutzt. Eine größere PHY-Anzahl und Reichweite kann erreicht werden, wenn die Spezifikationen für Mischsegmente in der IEEE 802.3cg im Abschnitt 147.8 erfüllt werden.

PHY-Implementierung von Multidrop

Jede Technologie lässt sich auf unterschiedliche Arten implementieren. Im Fall von SPE sind es aktuell diese drei Varianten:



1. **PHY:** Die MCU (Micro Controller Unit) oder der Switch wird über MII (Media Independent Interface) rein digital an den PHY angeschlossen. Der PHY kapselt alles Spezifische für den Physical Layer (Kodierung, Arbitrierung, analogen Kabeltreiber etc.). Der MAC (Media Access Controller) in der MCU filtert die eingehenden Ethernet-Pakete. Dies ist die klassische Implementierung von Ethernet-basierten Systemen.
2. **MAC-PHY:** Die MCU wird über SPI (Serial Peripheral Interface) angebunden. Der MAC-PHY übernimmt das Filtern der eingehenden Ethernet-Pakete und übergibt nur noch die für die MCU relevanten an das Applikationsinterface. In der Regel wird ein MAC-PHY gewählt, wenn eine kleine MCU ohne MAC eingesetzt werden soll.
3. **Transceiver:** Der Transceiver enthält nur den Kabeltreiber. Alle digitalen Anteile des PHY werden in der MCU untergebracht. Da der Transceiver eine überschaubare Funktion hat, kann er in einem kleinen Gehäuse mit nur wenigen Pins (zum Beispiel 8) untergebracht werden. Diese Form der CAN-gleichen Implementierung ist üblicherweise die kostengünstigste.



Steckverbinder für Single Pair Ethernet

Es hat sich gezeigt, dass für unterschiedliche Applikationen auch unterschiedliche Steckverbinder einzusetzen sind. Denn unterschiedliche Anwendungsbereiche haben unterschiedliche Anforderungen an Datenraten (10 Mbit/s bis 1 Gbit/s), Verkabelungsdurchmesser (AWG 18 – AWG 27) und Verkabelungslängen (bis 1.000 m). Im Automobilbereich sind kurze Distanzen und hohe Geschwindigkeiten gefragt. Eine standardisierte Schnittstelle pro Automobilbaureihe ist dort nicht zwingend notwendig. Da das Volumen in diesem Segment sehr hoch ist, können Steckverbinder speziell für die Anforderungen einer Automobilbaureihe entwickelt und eingesetzt werden.

Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Gebäudeautomation. Nach Überzeugung zahlreicher Marktteilnehmer eignet sich SPE ideal dafür, eine Vielzahl von Anwendungen in der Gebäudeautomation mit dem Datennetz zu verbinden. SPE-Komponenten sind wesentlich kompakter als etablierte RJ45-Steckverbinder, wodurch sich die Anschlussdichte auf Netzwerkgeräten im Gebäudebereich steigern lässt. Das ist die Basis für die Netzwerkanbindung von Licht-, Temperatur-, Rauch- oder Luftsensoren oder für die Steuerung von Fenstern und Rollläden. Das Anwendungsbeispiel der digitalen Decke (Digital Ceiling) wird oft in diesem Zusammenhang genannt. Hierbei werden SPE-Kanäle innerhalb der strukturierten Digital-Ceiling-Verkabelung über mehrere Zonen hinweg bis zum Stockwerkverteiler gebündelt. Somit lassen sich zum Beispiel Rauchmelder oder Beleuchtungssensoren sehr einfach in ein Gebäudenetzwerk einbinden.

Im Prozessbereich kommt es auf große Distanzen (bis zu 1 km) an, die Datenübertragungsraten sind meist niedrig (10 Mbit/s). Oftmals sind die Anschlusspunkte für die Datenübertragung innerhalb eines den Explosionsschutz-Anforderungen (Ex-Schutz) gerechten Gerätegehäuses angebracht. Somit können die Steckverbinder nicht durch die Kabelverschraubung (M20 oder M16) durchgeführt werden. Das führt dazu, dass bei APL (Advanced Physical Layer) in den geschützten Bereichen neben den Terminal Blocks auch Rundsteckverbinder eingesetzt werden. Die Rundsteckverbinder sind der A-Codierte 4-polige Standard M8 und auch der A-Codierte 4-polige Standard M12.

Im Applikationsgebiet Factory Automation findet derzeit eine komplette Digitalisierung statt. Bereits heute produziert eine durchschnittliche Fabrik pro Tag ein Terabyte an Daten. Doch weniger als ein Prozent der gesammelten Daten wird aktuell tatsächlich genutzt und ausgewertet. Für die Erschließung der Daten ist eine durchgängige, industrietaugliche Kommunikation notwendig. Genau dafür steht SPE: durchgängige, skalierbare und deterministische Vernetzung vom Sensor bis zur Cloud. Eine weitere Herausforderung: Die Anzahl intelligenter Endgeräte steigt kontinuierlich, aber nicht der zur Verfügung stehende Platz – ganz im Gegenteil. Außerdem wird immer mehr Sensorik in die Maschinen und Anlagen eingebunden. Durch den kompakten und einfachen Aufbau stellt SPE dafür die industrietaugliche Verkabelung. Auch an extremen Einsatzorten, wo eine Verkabelung mit kleinem Außendurchmesser, kleinen Biegeradien und geringem Gewicht unabdingbar ist, beispielsweise bei Roboterarmen.

	Automotive	Building automation	Process automation	Factory automation
Application focus	Wiring harness in the automobile	Switch cabinet wiring Field cabling (e.g. KNX)	Field cabling sensors	Ind. switch cabinet wiring Field cabling Field cabling sensors
Transmission rate	10 MBit/s - 1 GBit/s	10 MBit/s - 1 GBit/s	10 MBit/s	10 MBit/s - 1 GBit/s
Transmission distance	15-40 m	< 1000 m	< 1000 m	≤ 100 m
Conductor cross-section	AWG 26-22	AWG 26-22	AWG 22-18	AWG 26-22
Mech. / electr. robustness	medium - high	low - medium	high (+Ex)	medium - high
Current connectors	Automotive-specific connectors	Individual wiring, terminal, EIB, RJ45	Terminal, plug connector, M12	RJ45, single wiring, terminal, M8/12

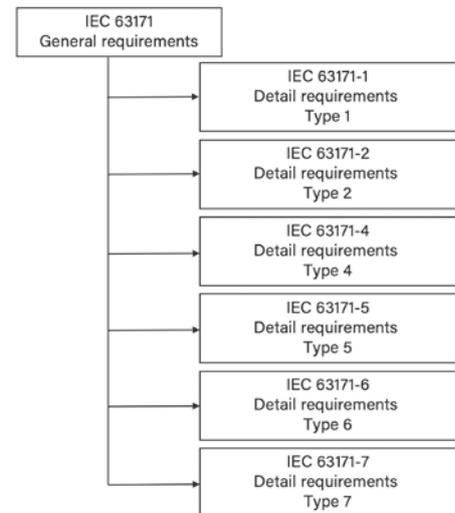
Unterschiedliche Branchenanforderungen an Single Pair Ethernet



IEC-normierte Steckverbinder-Varianten

In der Normreihe der IEC 63171-x werden nicht nur die einzelnen Varianten der Steckgesichter standardisiert, sondern auch die elektrischen und übertragungstechnischen Eigenschaften. In der IEC 63171 „Connectors for electrical and electronic equipment – Shielded or unshielded free and fixed connectors for balanced single-pair data transmission with current-carrying capacity – General requirements and tests“ werden die Eigenschaften beschrieben. Die gesamte Normungsreihe hat folgende Struktur:

In der aktuellen IEC 63171-x sind die verschiedenen Verbindungstechnikvarianten aufgelistet.



Multidrop-Bus-Topologien

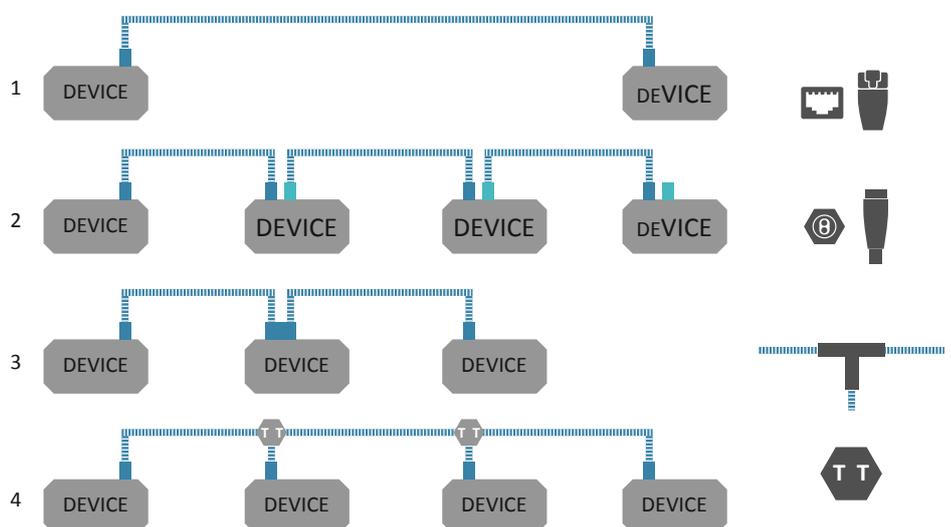
Die Bus-Topologien für Multidrop können unterschiedlich ausgeprägt sein. Normalerweise wird bei Ethernet eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung aufgebaut (siehe 1). Sofern eine Switch Funktionalität im Gerät eingebaut ist, können Linientopologien aufgebaut werden (siehe 2). Diese ermöglichen, ähnlich wie bei Multidrop, die Anordnung der Geräte in einer Linie bis hin zu einem Ring.

Multidrop-Topologien beginnen, sobald eine Leitung einen Abzweig ohne eine aktive Komponente bekommt, die es ermöglicht, dass ein Gerät gleichzeitig mit mehreren weiteren Geräten kommunizieren kann. Das wird T- oder auch Y-Abzweig genannt. Diese sind oftmals in IP67 mit Rundsteckverbindern realisiert (siehe 4). Echtes Multidrop beschreibt ein durchgängiges Kabel, welches bei Bedarf mit Hilfe von Insulation-Displacement-Technologie (IDC) abgezweigt wird. Somit kann der Abzweig an einer beliebigen Stelle gesetzt werden. Ebenso kann das Kabel an einer beliebigen Stelle durchtrennt und dort mithilfe eines Steckverbinders ein Abzweig realisiert werden.

Wichtig ist, dass die Geräte immer mit einer Steckverbinder-Buchse ausgestattet sind. Nur so lassen sich Geräte aufbauen, welche die unterschiedlichen Topologien unterstützen. Allerdings gibt es bei Multidrop-Anwendungen wichtige Randbedingungen für die Infrastruktur. Unterschiedliche Abstände der Geräte und unterschiedliche Kabellitzendurchmesser in Verbindung mit den eingesetzten Phys erfordern eine durchgängige physikalische Anpassung der Kabel und der Steckverbinder.

Hierbei sind folgende Randbedingungen wichtig.

Multidrop-Bus-Topologien



Bus 1 -> Point-to-Point

Bus 2&3 -> Daisy-Chain

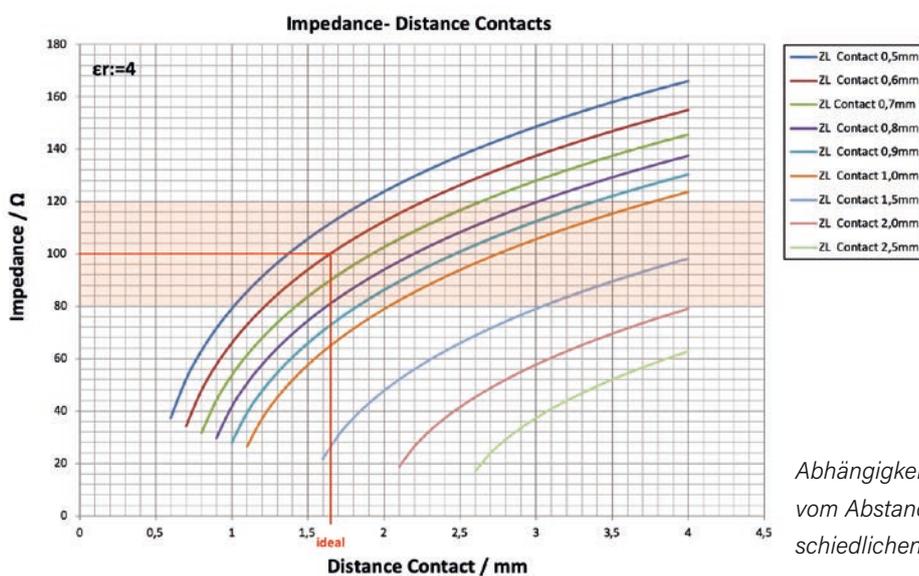
Bus 4 -> Multidrop



Anforderungen an Multidrop-Steckverbinder

Impedanz

In der Verkabelungsinfrastruktur für anwendungsneutralen Aufbau wurde die normative Impedanz (Wellenwiderstand) auf den Wert von 100 Ohm festgelegt. Alle einzelnen Komponenten – zum Beispiel Verbindungstechnik, Kabel etc. – müssen sich am festgelegten Wellenwiderstand orientieren. Der definierte Wellenwiderstand wirkt sich auch auf die Dimension des Steckgesichtes im Bereich der Steckzone zwischen Buchse und Stecker aus. Entscheidend für die Auslegung des Stecksystems ist die Kontaktdicke, der Abstand der beiden Kontakte und das Material des Kontakträgers (Permittivität des Kunststoffs).



Abhängigkeit des Wellenwiderstandes vom Abstand der Kontakte mit unterschiedlichen Kontaktdurchmessern

Spannungsfestigkeit

Spannungsfestigkeit bezeichnet die Eigenschaft, den Überschlag von einem Lichtbogen zwischen zwei Punkten bis zu einer bestimmten Spannung zu verhindern. Die Spannungsfestigkeit eines Steckverbinders wird mit Gleichstrom oder Wechselstrom überprüft.

Obwohl zwischen zwei Punkten des Steckverbinders ein hoher Isolationswiderstand vorliegen kann, ist die Spannungsfestigkeit oft begrenzt. Sie hängt meist von den geometrischen Eigenschaften innerhalb des Steckverbinders ab. Ein Abstand zwischen Schirmgehäuse und Kontakt einer Verbindungstechnik kann, trotz eines hohen Isolationswiderstandes, eine relativ niedrige Spannungsfestigkeit besitzen, wenn der Abstand oder das Isolationsmaterial nicht ausreichend gewählt worden ist.

- Die Standards der IEC 63171 sowie der IEEE 802.3cr begrenzen die Spannungsfestigkeit wie folgt:
- zwischen den Kontakten mit mind. 1000 V DC
- zwischen Kontakt und Schirm mit mind. 1500 V AC beziehungsweise 2250 V DC



Übertragungstechnische Eigenschaften

Die übertragungstechnischen Eigenschaften werden in drei Kategorien unterteilt:

- Kategorie A von 0,1 bis 20 MHz
- Kategorie B von 0,1 bis 600 MHz
- Kategorie C von 0,1 bis 1250 MHz

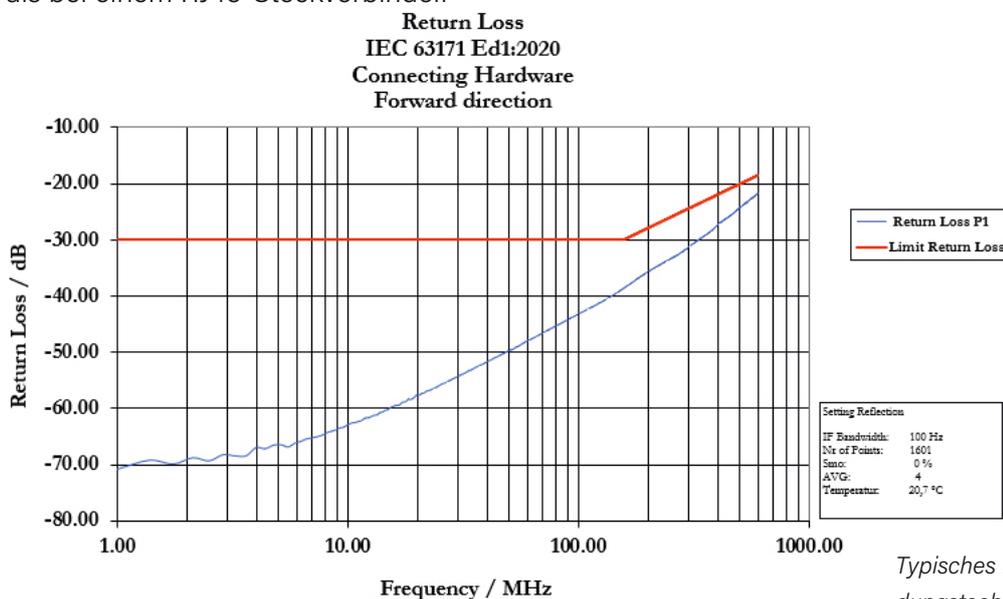
Kategorie A unterstützt die Applikation 10 Base-T1 aus der IEEE 802.3 cg, Kategorie B die Applikation 100/1000 Base-T1 aus der IEEE 802.3 bw/bp und Kategorie C die Applikation MultiGig 2,5G Base-T1 gemäß der IEEE 802.3 ch.

Kategorie gemäß der IEC 63171	Applikation	IEEE Standard
A (20 MHz)	10BASE-T1S 10BASE-T1L	802.3cg
B (600 MHz)	100BASE-T1 1000BASE-T1	802.3bw/ 802.3bp
C (1250 MHz)	2.5GBASE-T1	802.3ch

Rückflussdämpfung (Return Loss)

Bei einer Reflexion wird ein ankommendes Signal teilweise von einer Impedanzdifferenz reflektiert. Da die Impedanz von der Frequenz abhängt, ist auch die Reflexion frequenzabhängig. Die Reflexionsdämpfung wird in dB angegeben und ist das logarithmische Verhältnis zwischen dem reflektierten Signal und dem Eingangssignal. Je größer die Reflexionsdämpfung ist, desto besser ist die impedanzmäßige Anpassung. Die Rückflussdämpfung ist besonders für Anwendungen mit gleichzeitiger Übertragung in zwei Richtungen von Bedeutung.

In der SPE-Umgebung ist die Anforderung an den Rückflussdämpfung in der Verbindungstechnik strenger definiert als die Anforderung der Kategorie 8.1 /8.2 aus der ISO/IEC 11801-1. Aus diesem Grund muss die geometrische Auslegung eines SPE-Steckverbinders homogener ausgewählt werden als bei einem RJ45-Steckverbinder.

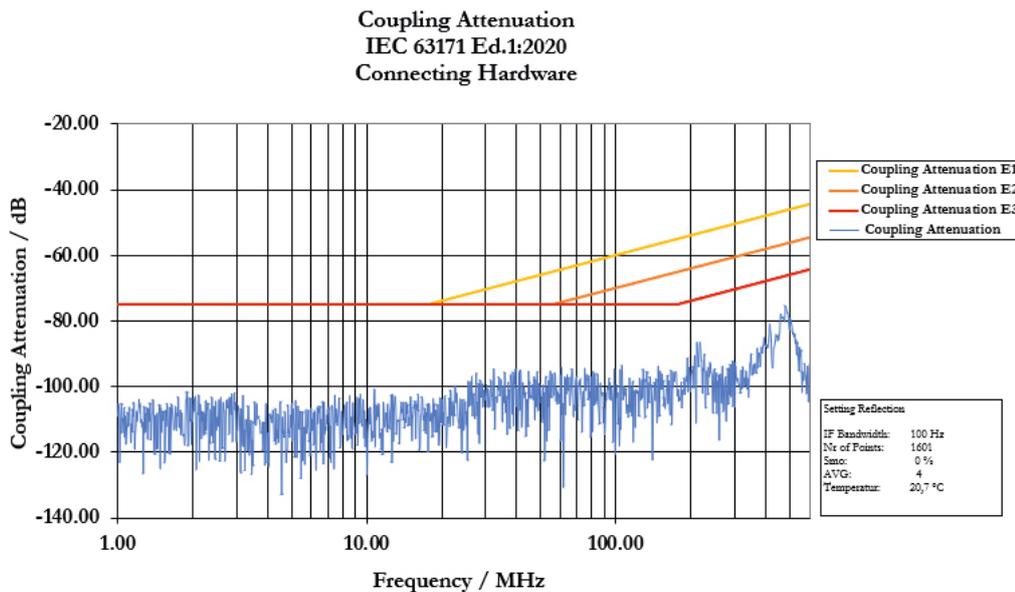


Typisches Messergebnis einer Verbindungstechnik gemäß IEC 63171-2



Kopplungs­dämpfung (Coupling Attenuation)

Ein weiterer Parameter zur Beschreibung der Übertragungstechnischen Eigenschaften ist die Kopplungs­dämpfung. Auf Grund der Inhomogenität des Steckverbinders können Störungen vom Schirmgehäuse Störungen auf das Datenkontaktpaar induzieren. Nicht nur die Schirmdämpfung des Steckverbinders hat Einfluss auf die Kopplungs­dämpfung, auch der symmetrische Aufbau des Steckverbinders kann die Kopplungs­dämpfung beeinflussen.



Typischer Verlauf der Kopplungs­dämpfung einer Verbindungstechnik gemäß IEC 63171-2

Ein möglicher Steckverbinder für Multidrop-Anwendungen ist aktuell bei der IEEE 802.3da in der Diskussion. Da es noch keine klaren Vorgaben für die Kanaldefinition (Längensegmente, Anzahl Knoten, Stich-/Drop-Leitungen) für Multidrop gibt, ist auch derzeit noch kein Steckverbinder definiert. Die oben genannten Grundlagen der Steckertechnik sind allerdings einzuhalten. Daher wird das IEEE sich voraussichtlich an eine der IEC 63171-SPE Steckverbinder-Varianten halten.

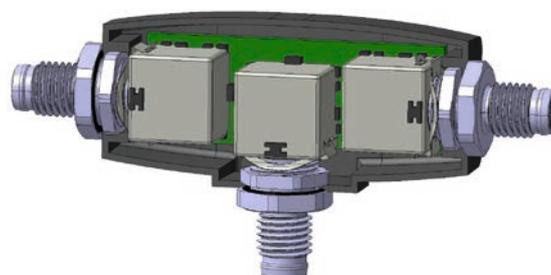
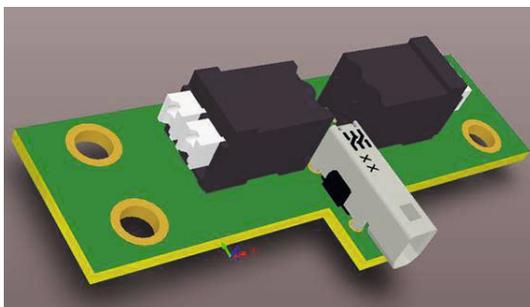


Bild eines möglichen Steckverbinders mit einer Dropleitung



Energieversorgung (Powering) von SPE Systemen

Im Rahmen von SPE bietet das sogenannte „Power over Data Line“ (PoDL) die Möglichkeit, Sensoren und andere Ethernetknoten mit geringer Leistungsaufnahme mittels Fernspeisung über das SPE-Datenkabel zu versorgen. Bei dieser differentiellen Fernspeisung wird dem AC-gekoppelten Datensignal mittels Induktivitäten im Switch (PSE: Power Sourcing Equipment) eine DC-Versorgungsspannung überlagert beziehungsweise am zu versorgenden Device (PD: Powered Device) abgegriffen.

Für die Devices gibt es 16 verschiedene Leistungsklassen von 0,5 W bis 52 W, die sich auch in der eingespeisten Versorgungsspannung unterscheiden können. Die Klassen 0 bis 9 wurden ursprünglich für 100BASE-T1- und 1000BASE-T1-Datenlinks im Automotive-Bereich entworfen, während die Klassen 10 bis 15 im Zuge der 10BASE-T1-Erweiterungen Einzug in den Ethernet-Standard hielten.

Klasse	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
V max (V)	18	18	18	18	36	36	36	36	60	60	30	30	30	58	58	58
V min (V)	4.94	4.41	12	10.06	10.3	8.86	23.3	21.7	40.8	36.7	14	14	14	35	35	35
I max (mA)	101	227	249	471	97	339	215	461	735	1360	92	240	632	231	600	1579
P max (W)	0.5	1	3	5	1	3	5	10	30	50	1.23	3.2	8.4	7.7	20	52
R _{Loop} (Ω)	6	6	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	65	25	9.5	65	25	9.5

Tabelle basierend auf Informationen von IEEE Std. 802.3bu sowie IEEE Std. 802.3cg

Diese Entwicklung lässt sich auch anhand der zulässigen Schleifenwiderstände (R_{Loop}) des Kanals erkennen, die aufgrund der kurzen Kabellängen im Fahrzeug mit 6 Ohm bzw. 6.5 Ohm für die Klassen 0 bis 9 gering ausfallen. Dem gegenüber stehen die Klassen 10 bis 15, bei denen im Zuge der Einführung von 10BASE-T1 auch mit dem Hintergrund der möglichen 10BASE-T1L-Leitungslänge von über 1.000 m mit bis zu 65 Ohm ein verhältnismäßig großer Widerstand gewählt wurde.

Bei Punkt-zu-Punkt-Datenlinks, wie sie bei 10BASE-T1L, 100BASE-T1 und 1000BASE-T1 vorgesehen sind, wird beim Startup zunächst zwischen PSE und PD ausgehandelt, ob das Gerät versorgt werden muss und wenn ja, welche Leistungsklasse – und damit auch Versorgungsspannung – vom Switch bereitzustellen ist.

Jedoch ist ein derartiges Vorgehen innerhalb der im 10BASE-T1S festgelegten Multidrop-Architektur leider nicht möglich. Hierbei kann nur eine Versorgungsspannung auf der Leitung festgelegt werden, die dann allen Teilnehmern zur Verfügung steht – benötigt oder nicht.

Da für PoDL bei Multidrop-Systemen eine grundsätzlich andere Prozedur notwendig ist als bei den übrigen SPE-Varianten, wurde PoDL für Multidrop-Anwendungen innerhalb der IEEE-Standardisierung zunächst explizit ausgeschlossen. Um die Verwendbarkeit der Multidrop-Technologie zu erweitern, wurde aber bereits im Juni 2020 die IEEE-Arbeitsgruppe „Multidrop Enhancements Task Force“ gegründet. Sie beschäftigt sich neben den Themen „größere Reichweite“ und „mehr Teilnehmer“ auch mit PoDL bei Multidrop-Systemen.

Für die Zukunft ist also davon auszugehen, dass PoDL auch für SPE Multidrop verfügbar sein wird und mehrere Verbraucher geringer Leistung mittels einer Twisted-Pair-Leitung für Stromversorgung und Datenverkehr einfach in Linien- sowie Daisy-Chain-Topologie angebunden werden können.



Standardisierung

Die Standardisierung von SPE wird in folgenden Gremien realisiert:

1. IEEE: Spezifikation des Übertragungskanal und des Physical Layer Device (PHY) vom Media Independent Interface (MII) abwärts.
2. OPEN Alliance: Weiter einschränkende Spezifikationen, um Anwendungen der Technologie in Fahrzeugen zu ermöglichen (Interoperabilitätstest, Energiesparmodi, Kabeldiagnose, SPI-Protokoll für den MAC-PHY etc.)
3. Ethernet Alliance: Non-Profit-Organisation zur Veranstaltung von Ethernet-Events wie zum Beispiel Plug-Festivals.

Eine Multidrop-Verkabelungsstruktur wurde bereits im Standardisierungsprojekt „IEEE P802.3cg“ 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“ bearbeitet und verabschiedet. Zurzeit bearbeiten verschiedene Komitees weitere Normungsprojekte zum Thema Multidrop.

10BASE-T1S Multidrop (IEEE 802.3cg)

Die IEEE 802.3cg definiert Halbduplex-Kommunikation auf einem Multidrop-Mischsegment unter Verwendung eines einzelnen symmetrischen Leiterpaares, wodurch bis zu 8 PHYs zu einem Trunk von bis zu mindestens 25 m verbunden werden können. Für Multidrop wurde keine Leistung definiert.

10 Mbit/s Single Pair Multidrop Segments Enhancement (IEEE P802.3da)

Das Projekt „10BASE-T1M“ beschreibt eine IEEE 802.3 Physical-Layer-Spezifikation für einen 10 Mbit/s Ethernet LAN (Local Area Network) mit einem Leiterpaar als gemeinsames Übertragungsmedium mit einer Reichweite bis zu mindestens 50 m.

Ausblick

Single Pair Ethernet und Multidrop bieten viele Vorteile für neue Anwendungen, denn sie kombinieren kompakte Abmessungen mit einem industrietauglichen Kontaktsystem, einfacher Installation und zukunftssicheren Übertragungsraten. Multidrop hebt Ethernet auf die nächste Kommunikationsstufe und ist prädestiniert für zukünftige, kompakte, digitale Kommunikationsschnittstellen. Es steht für die Zukunft einer einheitlichen Ethernet-Kommunikationsinfrastruktur.

Bei Multidrop kommen keine Switches mehr zum Einsatz, sondern es ermöglicht in Linien- sowie Daisy-Chain-Topologien. Dadurch können Endpunkte eines Netzwerks direkt an die Cloud angebunden werden. Da keine Protokolle mehr umgewandelt werden müssen, ist die Installation einfach und kostengünstig.