

WHITE PAPER

POWER-OVER-ETHERNET (POE) FERNSPEISUNG ÜBER DIE UNIVERSELLE GEBÄUDEVERKABELUNG

Power-over-Ethernet – kurz: PoE – beschreibt ein Konzept, das Verbraucher, die über eine (Kupfer-) Datenleitung angebunden sind, mit der für den Betrieb des Gerätes notwendigen elektrischen Leistung versorgt. Heute können bereits aktive Geräte eingesetzt werden, die Leistungen bis zu 100 Watt in eine Datenleitung einspeisen. Für eine so genutzte Strukturierte Gebäudeverkabelung gibt es jedoch einige Punkte, die bei der Planung, der Installation und dem Betrieb derselben zu beachten sind. Dieses White Paper gibt darüber Auskunft.

Die Entwicklung der PoE-Standards bis zur Übertragung von 100 Watt Leistung verlief in drei Normierungsschritten:

PoE: Stromversorgung über 10Base-T / 100Base-TX

Dieser erste Standard für die Stromversorgung über Datenkabel – IEEE 802.3af – wurde 2003 ratifiziert. Während die Aderpaare 1/2 sowie 3/6 für die Datenübertragung genutzt werden, stehen die beiden freien Paare für die Energieversorgung von Endgeräten wie Webcams, IP-Telefone oder WLAN-Access-Points zur Verfügung. Alternativ ist aber auch vorgesehen, die mit der Datenübertragung belegten Adern parallel auch für die Stromversorgung zu nutzen. Mit einer definierten Leistungsabgabe von 15,4 Watt pro Port an den aktiven Komponenten (Switch-Port) können Endgeräte mit einer geringeren Leistungsaufnahme sicher betrieben werden.

PoE Plus: Stromversorgung auch für 1000Base-T

Die Fernspeisung von Endgeräten wurde bis 2009 weiterentwickelt. Mit dem PoE+-Standard IEEE 802.3at wurde einerseits die maximale Leistung auf Senderseite auf 30 Watt erhöht, andererseits wurde damit die Leistungsübertragung für schnellere Ethernet-Protokolle wie 1000Base-T freigegeben. Dadurch konnten weitere Applikationen mit einem höheren Leistungsbedarf betrieben werden.

Bei 1000Base-T erfolgt die Datenübertragung über alle vier Paare parallel. Die Leistungsübertragung erfolgt über zwei Paare und überlagert die Datenübertragung. Die verfügbare



Leistung beträgt verbraucherseitig maximal 25,5 Watt. Das schränkt die Wahl der Verbraucher immer noch stark ein.

4PPoE: Leistungsübertragung bis 100 Watt

Mit dem Standard IEEE 802.3bt, der im 1. Quartal 2018 veröffentlicht wird, werden erstmals alle Adern im Datenkabel zur Leistungsübertragung genutzt. Mit „Four-Pair Power over Ethernet“ – kurz: 4PPoE – steigt die Leistung auf der Senderseite auf 60 bzw. 100 Watt (IEEE 802.3bt Type 3 bzw. Type 4).

Damit wird nun die Versorgung leistungsfähiger Verbraucher am Arbeitsplatz Realität. Der Standard macht zugleich den RJ45 zum weltweit normierten Steckverbinder für die elektrische Energieversorgung von Endgeräten über die Datenverkabelung. Der Standard 4PPoE ist rückwärtskompatibel zu PoE und PoE+. Zudem ist er kompatibel zu 10-, 100- und 1000BASE-T sowie zu 2.5-, 5- und 10GBASE-T. Der minimale un-

Dienst	Standard	Max. Strom	Paare mit Energie	Max. Leistung Quelle (PSE)	Max. Leistung Verbraucher (PD)	Standard ratifiziert
PoE	IEEE 802.3af (802.3at Type 1)	350 mA	2	15.4 W	12.95 W	2003
PoE+	IEEE 802.3at Type 2	600 mA	2	30 W	25.5 W	2009
4PPoE	IEEE 802.3bt Type 3	600 mA	4	60 W	51 W	2018 (erwartet)
4PPoE	IEEE 802.3bt Type 4	860 mA	4	90 (100) W	72 W	2018 (erwartet)
Basiert nicht auf PoE-Standard	Cisco UPOE	600 mA	4	60 W		Kein offizieller Standard
Basiert nicht auf PoE-Standard	HDBase-T™	1000 mA	4	96 W		Kein offizieller Standard

Tabelle 1: Übersicht über PoE-Protokolle - 2003 bis 2018

terstützte Verkabelungsstandard ist die Klasse D (Kategorie-5e-Komponenten), wobei das Budget für den Schleifenwiderstand 25 Ohm beträgt. Die maximale Einspeisespannung für PoE liegt bei 57 Volt.

Anwendung: Endspan- oder Midspan-PoE

Grundsätzlich lässt sich PoE auf zwei Arten in ein Kommunikationsnetzwerk integrieren. Eine platzsparende und hochintegrierte Lösung ist die Verwendung eines PoE-fähigen Switches (Endspan-PoE). Zu beachten ist dabei der höhere Energieverbrauch und die erhöhte Wärmeentwicklung im Rack.



Sollen dagegen nur vereinzelte PoE-Geräte angeschlossen werden, kann man zwischen Switch und Endgerät einen PoE-Injektor einsetzen (Midspan-PoE).

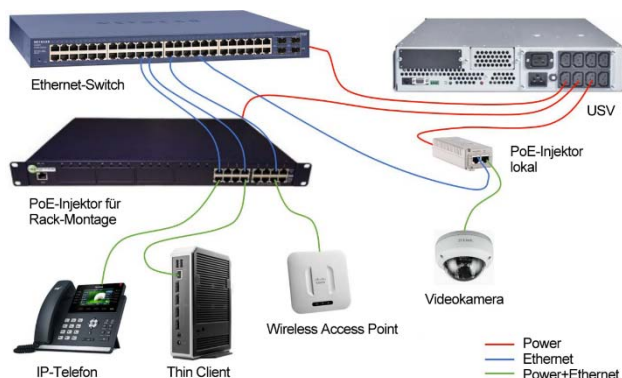


Bild oben: Endspan-PoE-Lösung. Bild unten: Midspan-PoE-Lösung

Ein PoE-Injektor ist ein Stromspeisegerät, das dem Switch nachgeschaltet in die Übertragungsstrecke eingesetzt wird. Das heißt, der PoE-Injektor kann in einem Rack oder aber lokal in der Nähe des Endgeräts verbaut werden.

Checkliste

Ob und wie man die Leistungseinspeisung nutzt, ist von vielen Faktoren abhängig. Als Orientierungshilfe hier einige wichtige Fragen, die für die Anwendung von PoE massgeblich sind:

- Ist das Endgerät PoE-fähig?
- Deckt der Switch/Injector den Leistungsbedarf ab?
- Genug Platz im Rack und/oder am Standort des Endgerätes?
- Wird das Wärmemanagement entlang des Übertragungskanals beachtet?
- Ist die Zugänglichkeit der Endgeräte gegeben?
- Ist die Stromversorgung der Endgeräte geklärt, z.B. der Überwachungskameras, Bewegungs- und Lichtsensoren?
- Ist eine Integration ins Gebäudemanagement geplant?
- Internet-of-Things: Sind die Geräte für die stationäre Installation PoE-tauglich, z. B. die Sensoren?

Kabelerwärmung unter Kontrolle halten

Datenkabel in der strukturierten Gebäudeverkabelung sind in erster Linie auf eine möglichst effiziente Übertragung von digitalen Signalen optimiert. Für die elektrische Leistungsübertragung ist ihr Design nicht optimal. Darum gibt es einige Dinge, die zu beachten sind, wenn man sie für PoE einsetzt.

Zum Beispiel sind die Leiterquerschnitte von Datenkabeln im Vergleich zu Niederspannungsstromkabeln gering. Die PoE-Spannung ist mit maximal 57V ebenfalls eher gering für eine Leistungsübertragung. Demzufolge ist der Strom im Leiter relativ hoch, und damit steigt die Verlustleistung (P) entlang des Kabels. Die Verlustleistung kann wie folgt berechnet werden:

$$P = I^2 \times R$$

I steht dabei für den Strom im Leiter, R ist der DC- (Gesamt-) Widerstand des Leiters.

Daraus leitet sich ab, dass die Verlustleistung grösser wird

- a) je höher der Strom ist,
- b) je länger die Übertragungsstrecke ist,
- c) je grösser der Leiterwiderstand ist.

Diese Verlustleistung tritt in Form von Wärmeverlust auf. Das heisst: Mit dem Einsatz von PoE verwandelt sich die Kommunikationsverkabelung in ein kleines Heizungssystem. Weiterhin muss man sich darüber im Klaren sein, dass elektrische Isolatoren in aller Regel auch gute thermische Isolatoren sind. Das beeinflusst die Wärmeableitung negativ.

Anzahl Kabel	Temperaturanstieg in °C											
	0,4 mm Schnüre		Cat.5-Kabel		Cat.6-Kabel		Cat.6A-Kabel		Cat.7-Kabel		Cat.7A-Kabel	
	Luft	Kanal	Luft	Kanal	Luft	Kanal	Luft	Kanal	Luft	Kanal	Luft	Kanal
1	1,9	3,1	1,1	1,7	0,8	1,3	0,7	1,1	0,7	1,1	0,6	0,9
7	5,7	9,1	3,5	5,2	2,6	4,0	2,3	3,3	2,3	3,3	1,7	2,6
19	10,5	16,5	6,7	9,7	5,1	7,4	4,4	6,1	4,4	6,1	3,1	4,7
24	12,2	19,1	7,9	11,3	6,0	8,7	5,1	7,1	5,1	7,1	3,6	5,5
37	16,2	25,1	10,7	15,2	8,2	11,6	7,0	9,5	7,0	9,5	4,7	7,2
48	19,3	29,8	13,0	18,2	10,0	14,0	8,5	11,4	8,5	11,4	5,7	8,5
52	20,3	31,4	13,8	19,3	10,6	14,8	9,0	12,0	9,0	12,0	6,0	9,0
61	22,7	34,9	15,5	21,6	12,0	16,6	10,1	13,4	10,1	13,4	6,7	10,0
64	23,5	36,1	16,1	22,4	12,4	17,1	10,5	13,9	10,5	13,9	6,9	10,3
74	26,0	39,8	17,9	24,9	13,9	19,1	11,7	15,4	11,7	15,4	7,7	11,3
91	30,1	45,9	21,0	29,0	16,4	22,2	13,8	17,9	13,8	17,9	8,9	13,1

Temperaturanstieg über 10 °C (graues Feld): nicht empfohlen
 Die Werte basieren auf dem impliziten DC-Widerstand, abgeleitet von der Einfügedämpfung (IL) der Kabelkategorien (gemäss Informationen der Kabelhersteller/-lieferanten).
 Anmerkung 1: Der Temperaturanstieg (°C) basiert auf einer Stromstärke von 500 mA je Leiter auf allen Paaren in allen Kabeln im Bündel
 Anmerkung 2: Der Strom je Leiter je Kategorie (Cat.) ist abhängig von der Kabelkonstruktion.

Solange in einem Datennetzwerk nur ein Teil der Kabel für die Leistungsübertragung genutzt wird und dies auch nur für PoE oder PoE+, tauchen in der Praxis kaum Probleme auf. Die Wärmeabführung in einer solchen Installation ist ausreichend gut, so dass keine nennenswerte Kabelerwärmung auftritt.

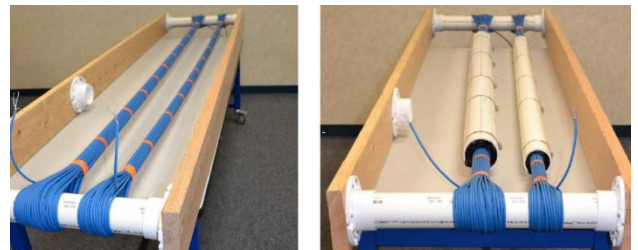
Beim Einsatz von 4PPoE (bis 100 Watt) wird die Kabelerwärmung jedoch zu einem ernst zu nehmenden Phänomen. Experimente haben gezeigt, dass bei Missachtung von Installationsregeln und im ungünstigen Fall die Kabelleitertemperatur soweit ansteigen kann, dass die thermoplastischen Isolationsmaterialien erweichen. Letztendlich kann das bis zu einem Kurzschluss führen.

In Fachkreisen beschäftigt man sich seit Jahren mit der Frage, wie die Installation von Kommunikationsnetzwerken unter Einbezug von PoE mit hohen Leistungen einerseits sicher, andererseits aber auch überschaubar, einfach und wirtschaftlich gestaltet werden kann. Aktuell befasst sich unter anderem die zweite Ausgabe der ISO/IEC TS 29125 (2017) eingehend mit der sicheren Installationspraxis von Datennetzwerken, in denen in grossem Umfang PoE-Applikationen zum Einsatz kommen sollen.

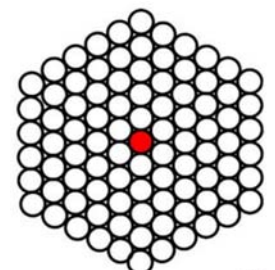
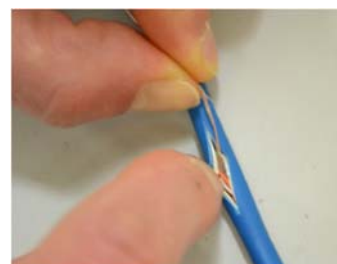
Erkenntnisse und Empfehlungen von ISO/IEC

Die ISO/IEC hat die Erwärmung eines Kabels in einem Kabelbündel „an der Luft,“ und „im Kanal“ gemessen (Bilder re. oben). Dazu wurde je ein Thermoelement in das Kabel eingeführt und dieses in der Mitte des Bündels platziert (Bilder re.).

In Tabelle 2 (oben, Quelle: ISO/IEC) wird die Leitertemperatur des Kabels im Bündelzentrum in Abhängigkeit vom Leiterquerschnitt (= Kabelkategorie), der Anzahl der Kabel im Bündel und der Installationsumgebung aufgezeigt. Hier sind alle Paare in allen Kabeln des Bündels mit 500 mA pro Leiter belastet.



Um die Installationspraxis möglichst einfach zu gestalten, empfiehlt die Norm durchgehend maximal 37 Kabel pro Bündel. Wenn die Kabeleigenschaften, die Installationsumgebung und die effektive PoE-Landschaft mit in die Planung einbezogen werden, sind aber auch andere Bündelgrössen akzeptabel.



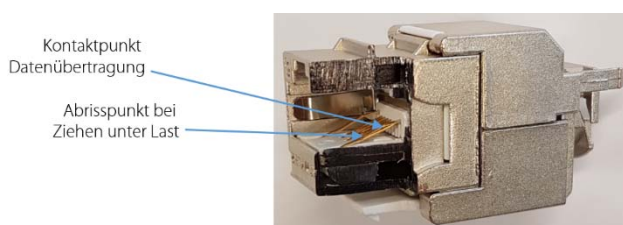
Platzierung eines Thermoelements im Kabel und des Kabels im Bündel

Verbindungen trennen unter Last

Der RJ45-Stecker wie auch die RJ45-Buchse sind ursprünglich für die Übertragung von elektrischen Datensignalen entwickelt worden. Die Nutzung des RJ45-Steckverbinders für die Leistungsübertragung erfolgte erst in einem zweiten Schritt. Das heisst, dass er nicht für die Leistungsübertragung ausgelegt ist. Im Rahmen der technischen Möglichkeiten wurde über die Jahre die Fähigkeit der Stromübertragung verbessert. Trotzdem zeigt der RJ45-Stecker im Kontaktdesign Schwächen, insbesondere wenn die Verbindung unter Last gesteckt oder getrennt wird.

Mit Erfüllung der Komponentenstandards der IEC 60603-7-Familie allein ist nicht sichergestellt, dass PoE-Applikationen unterstützt werden. Eigens dafür wurde mit der IEC 60512-99-001 mittlerweile ein Testregime festgelegt, mit dem das Stecken und Ziehen der RJ45-Verbindung unter Last getestet wird. Nur Produkte mit diesem Prüfsiegel garantieren die Eignung für PoE-Anwendungen und einen störungsfreien Betrieb von Endgeräten mit Fernspeisung.

Die IEC 60512-99-001 empfiehlt, in jedem Fall vor dem Stecken oder Lösen der RJ45-Verbindung die Stromquelle auszuschalten.



Schnitt eines RJ45-Moduls (Buchse) im Bereich der Kontaktfedern

Beim Lösen der RJ45-Steckverbindung mit Fernspeisung kann am Ablösepunkt ein Lichtbogen von den Steckerkontakten

zu den Kontaktfedern in der Buchse entstehen. Je höher die übertragene elektrische Leistung ist, desto ausgeprägter ist dieser Effekt. Die dadurch verursachten Brandspuren auf den Kontakten führen zu einer Erhöhung der Übergangswiderstände. Um die Datenübertragung trotzdem gewährleisten zu können, ist das Design so gestaltet, dass die Ablösepunkte beim Ziehen und die Datenübertragungsposition im gesteckten Zustand in der Buchse geographisch getrennt sind.

Fazit und Produktempfehlung

In Sachen PoE lassen sich die folgenden Kernaussagen treffen:

- S/FTP-Kabel haben eine bessere Wärmeableitung als UTP-Kabel
- AWG22 ist besser für PoE geeignet als AWG24
- Kleine Kabelbündel leiten Wärme besser ab als grosse
- Isolierte und geschlossene Verlegeräume (z.B. Kanäle) behindern die Wärmeableitung
- Nur nach IEC 60512-99-001 zertifizierte Module gewährleisten einen störungssicheren Betrieb von PoE-Applikationen

Daraus abgeleitet empfehlen wir für PoE-Applikationen die folgenden Produkte aus dem Dätwyler Portfolio:

Kupfer-Datenkabel:

	Artikelnummer
CU 7150 4P - FRNC/LS0H - Cat. 7A	18292500DK*
CU 7702 4P - FRNC/LS0H - Cat. 7A	17740000DK*

RJ45-Module:

	Artikelnummer
KS-TC Plus - Cat. 6A	418069
KS-T Plus 1/8 - Cat. 6A	418061
MS-C6A 1/8 Cat. 6A (Keystone)	309249

Kupfer-Patchkabel:

	Artikelnummer
RJ45-Patchkabel - Cat. 6A	653xxx (versch. Farben)

** Diese Kabel sind auch mit den Brandklassen Cca und B2ca erhältlich.*