Warum PoE immer eine gute Idee ist

Zahlreiche IPCs können auch periphere Komponenten hochzuverlässig mit Strom versorgen

Bild 1: Nicht zuletzt durch konsequenten Einsatz von PoE und den Verzicht auf Steckernetzteile gelingen sehr kompakte Aufbauten von Geräten, wie beispielsweise der semi-automatischen Series 56i von F&S Bondtec © F&S Bondtec

Viele Industrie-PCs bieten die Möglichkeit, angeschlossene Peripheriegeräte direkt aus dem Netzteil des Rechners mit Strom zu versorgen. Für die Ethernet-Schnittstellen steht PoE (Power over Ethernet) zur Verfügung; bei USB ist die Stromversorgung von vorneherein im Standard und damit im Stecker integriert.

Auf den ersten Blick vereinfacht die Stromversorgung von Komponenten über USB und PoE die Verkabelung, weil Strom und Daten über ein gemeinsames Kabel übertragen werden (Bild 1). PoE beseitigt aber auch potenzielle Ursachen für Störungen und Ausfälle, weil einfache Steckernetzteile meist eine deutlich kürzere Lebensdauer haben, als der IPC. Studien zeigen, dass eine PoE-Versorgung für Verbraucher bis ca. 10 W die energetisch günstigste Lösung ist - trotz der unvermeidlichen Leitungsverluste.

Der Strom für die Versorgung von Kameras, Router oder Netzwerk-Switches via USB und PoE kommt direkt aus dem Netzteil des Industrie-PCs. Diese kommen weit besser mit Spannungsschwankungen oder -spitzen zurecht, als einfache Steckernetzteile und erhöhen damit die Zuverlässigkeit weiter.

Power over USB bis 4,5 W

Die Stromversorgung über den USB-Bus ist für den geringen Leistungsbedarf konzipiert, etwa Tastaturen. Maximal stehen an einer USB-3.0-Schnittstelle 5 V und 0,9 A zur Verfügung (= 4,5 W). Moderne Rechnerkonzepte bieten zudem genügend Reserven für Anlaufströme, etwa von externen DVD-Laufwerken.

Power over Ethernet bis 30 W

Für höhere Leistungsbedarfe empfiehlt sich der Einsatz der PoE-Ports. Damit die Stromtragfähigkeit der dünnen Netzwerkleitungen (siehe Tabelle 1) nicht überschritten wird, arbeitet PoE mit Spannungen von maximal 54 V. Zwar kann ein AWG-26-Kabel (Cat 5) theoretisch bis 3 A belastet werden und könnte so gut 160 W an Leistung übertragen. Das gilt aber nur, wenn die Umgebungstemperatur unter 30 °C bleibt, und das Kabel vollständig abgewickelt ist. Soll das Kabel bis 50 °C eingesetzt werden, und ist davon auszugehen, dass es nicht vollständig abgewickelt ist, verringert sich die Stromtragfähigkeit auf weniger als die Hälfte. Kabel richtig auszulegen ist also nicht ganz so einfach, wie man gemeinhin meint, siehe Tabelle 1.

Um zuverlässig zu verhindern, dass sich Netzwerkkabel durch den PoE-Betrieb spürbar erwärmen - worunter auch die übertragbare Datenrate leiden würde - spezifiziert z. B. PoE Plus (PoE+ gemäß IEEE 802.3at-2009) maximale Belastungswerte, welche deutlich unter den theoretischen Maximalwerten liegen, siehe Tabelle 2.

PoE schaltet nicht einfach nur ein

Um Rechner wie Peripherie zu schützen, führt der IPC eine Leitungsmessung durch, bevor er die PoE-Stromversorgung freischaltet. Diese Messung läuft in vier Phasen ab:

1. Detektion

Mit einer kleinen Spannung zwischen 3 und 10 V DC testet der IPC, ob überhaupt etwas angeschlossen ist. Gemessen wird dabei der Strom und daraus der Gleichstromwiderstand errechnet. Liegt dieser im Bereich von 19…26,5 kOhm, geht es weiter zu Schritt 2.

Ist der Widerstand hingegen deutlich größer, ist entweder nichts angeschlossen, die Leitung unterbrochen, oder das Gerät nicht eingeschaltet.

Deutlich geringere Widerstände weisen entweder auf einen Kurzschluss hin - oder darauf, dass das angeschlossene Gerät einen zu hohen Stromverbrauch hat.

2. Klassifikation

Dazu stellt der IPC eine Versorgungsspannung zwischen 14,5 und 20,5 V bereit, und das angeschlossene Peripheriegerät stellt einen bestimmten Strom ein, welchen der IPC misst. Bei PoE+ (IEE 802.3at) sind dies 36…44 mA. Damit weiß der IPC, dass sich am Ende der Leitung ein PoE+-Gerät befindet.

3. Anlaufmodus

Erst jetzt stellt der IPC die eigentliche Stromversorgung bereit; das Peripheriegerät startet. Damit auch im Fall hoher Anlaufströme (und entsprechend großer Spannungsabfälle auf dem Netzwerkkabel) genügend Spannung beim Endgerät ankommt, spezifiziert die IEEE 802 daher, dass der IPC im Anlaufmodus mindestens 42 V bereitstellen muss.

4. Normalbetrieb

Im Normalbetrieb liegt die Versorgungsspannung zwischen 36 und 57 V DC. Üblich sind 48…54 V DC.

Leitungsverluste

Die vergleichsweise dünnen Netzwerkkabel haben einen nicht zu vernachlässigenden Widerstand („Kupferwiderstand"); siehe Tabelle 1. Dieser führt zu unvermeidlichen Spannungsverlusten: Bei einem CAT-7-Kabel beträgt der Leitungswiderstand 54 Ω/km. Bei 10 m Netzwerkleitung (= 20 m Hin- und Rückleiter) beträgt der Leitungswiderstand eines Leitungspaares entsprechend 1,08 Ohm.

	AWG 22	AWG 23	AWG 24	AWG 25	AWG 26
CAT	7	6	6 / 5	5	5
Leitungsquerschnitt	0,32 mm²	0,25mm²	0,2 mm²	0,16 m²	0,13 mm²
Leitungswiderstand	54 Ω/km	70 Ω/km	87 Ω/km	110 Ω/km	138 Ω/km

Tabelle 1: Typische Eigenschaften von Netzwerkkabeln

Autor:
Helmut Artmeier,
Managing Director
EFCO
www.efcotec.com

Bild 2: Familienbild der Eagle-Eyes-Serie von EFCO. Diese sind mit zahlreichen PoE-Schnittstellen ausgestattet © EFCO

Bei PoE+ werden zwei davon parallel geschaltet, so dass sich der tatsächliche Leitungswiderstand im Beispiel zu 0,54 Ohm ergibt.

Das angeschlossene Peripheriegerät hat einen Leistungsbedarf von 20 W. Die Versorgungsspannung beträgt 48 V.

Aus P = U * I folgt I = P/U.

Auf der Leitung fließt also ein Strom von 0,42 A.

Aus R = U/I folgt U = R*I.

Über den Leitungswiderstand fallen also 0,23 V ab.

Die Verlustleistung ergibt sich zu rund 100 mW (= 0,23 V * 0,42 A). Bezogen auf die 20 W beträgt der Leitungsverlust also ca. 0,5 %.

Der gerade erklärte Rechenweg lässt sich in folgende Formeln zusammenfassen:

Spannungsabfall auf der Leitung = Leitungswiderstand * Leistungsbedarf des Geräts / Versorgungsspannung

Verlustleistung = Leitungswiderstand * Leistungsbedarf² / Versorgungsspannung²

Bei 50 m Länge ergibt sich bei der gleichen Leitung ein Gesamtwiderstand von 2,7 Ohm. Der Spannungsabfall beträgt jetzt über 1,1 V und die Verlustleistung steigt auf fast ein halbes Watt bzw. 2,5 %.

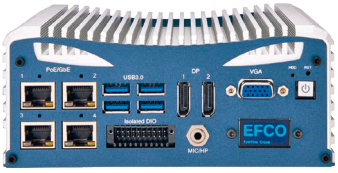

Bild 3: Frontansicht des EFCO AIM: Die Anzeige-LEDs für PoE befinden sich jeweils oberhalb der RJ-45-Buchse; die frei programmierbare Diagnose-Anzeige rechts unten © EFCO

Rechnet man das gleiche Beispiel mit einem einfachen CAT-5-Kabel mit AWG 26 durch, ergibt sich der Widerstand bei 10 m zu 1,38 Ohm, bei 50 m sind es schon fast 7 Ohm. Der Spannungsabfall beträgt bei 10 m 0,575 V, bei 50 m schon fast 3 V. Die Verlustleistung steigt auf rund ¼ Watt bzw. auf 1,2 W. In letzterem Fall werden also 6 % der eingespeisten Energie im Kabel in Wärme umgewandelt. Allein das einfache CAT-5-Kabel macht also aus einem Hocheffizienz-Netzteil mit 98 % Wirkungsgrad ein Standard-Netzteil mit 92 % Wirkungsgrad.

Faustregeln

Aus den Beispielen und Berechnungen lassen sich folgende Faustregeln ableiten:

1. Verwenden Sie hochwertige Kabel mit geringem Kupferwiderstand
2. Halten Sie die Leitungen so kurz wie möglich
3. Achten Sie auf den Leistungsbedarf der Peripherie. Dieser sollte so gering wie möglich sein.
4. Wählen Sie die Versorgungsspannung möglichst hoch (EFCO etwa spezifiziert 54 V DC).

Diagnoseanzeigen nutzen

Gute Industrie-PCs zeigen über LEDs direkt an der PoE-Buchse, ob Strom fließt (Bild 3). Das spart in komplexeren Installationen einiges an Fehlersuchzeit. Moderne IPCs, wie die Eagle-Eyes-Serie von EFCO gehen noch einen Schritt weiter und zeigen auf einem integrierten Display permanent den aktuellen Stromverbrauch der angeschlossenen Peripherie an. Dies lässt auch Rückschlüsse darauf zu, ob eventuell das Gerät bzw. dessen embedded-Rechner abgestürzt ist.

Spannungsebene	42,5…57 V DC; in aller Regel 48 V
Ausgangsstrom im Betrieb	600 mA
Ausgangsstrom im Anlaufmodus	max. 400 mA
Maximale Ausgangsleistung	30 W
Maximale Leistung am Endgerät	25,5 W
Benutzte Adernpaare	2 (von vier im Standardkabel)

Tabelle 2: Wesentliche Eigenschaften von PoE+

Remote-Reset

Ist der IPC zudem mit einem leistungsfähigen API (Application Programming Interface) ausgestattet, bzw. verfügt er sogar über ein DMCI (Dynamic Monitoring Control API), dann lässt sich darüber die Stromversorgung jeder einzelnen USB- und PoE-Schnittstelle definiert abschalten. Entsprechend über Remote-Zugänge oder MQTT-Ansätze in die Fernwartungs-Software integriert, ist damit ein Hardware-Reset des angeschlossenen Geräts aus der Ferne möglich. Dies hilft, teure Service-Einsätze zu vermeiden.

…und wenn die Leistung nicht reicht?

Die Netzteile von IPCs sind in aller Regel für hohe Leistungen ausgelegt; bei der Eagle-Eyes-Serie von EFCO stehen rund 200 W für die Versorgung der Peripherie zur Verfügung. Sollte das in speziellen Applikationen nicht ausreichen, etwa bei Hochgeschwindigkeitsaufnahmen, kommen zusätzliche externe Netzteile zum Einsatz (Bild 4). Wichtig ist hier die galvanische Trennung, damit die Stromausgänge von IPC und externem Netzteil ohne weiteres parallel geschaltet werden können. Bei Netzteilen ohne Potentialtrennung kann es durchaus vorkommen, das Ausgleichsströme von einigen Ampere über das Netzwerkkabel fließen, was den Datenverkehr spürbar bremsen oder zu sporadischen Störungen führen kann. „Warme" Netzwerkkabel sind also immer ein ernstes Alarmzeichen, dass irgendetwas nicht stimmt.

Edge-Computing im dezentralen Schaltschrank

Ein bisher selten gewählter Ansatz ist, PoE zur Versorgung dezentraler Schaltschränke für kleine SPSen zu nutzen. Dies erfordert vor der Steuerung einen PoE-fähigen Tiefsetzsteller, welcher die hohe Versorgungsspannung stabil auf die 24-V-Versorgungsebene der Automatisierungstechnik übersetzt. Mehr dazu an anderer Stelle. ◄

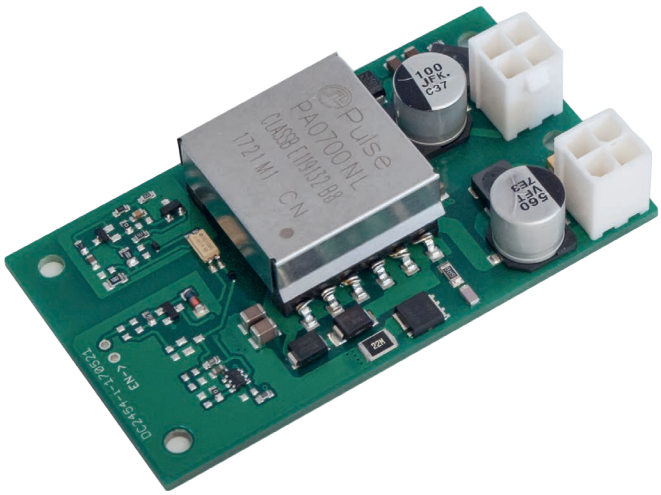

Bild 4: Der DC2454-110-ISO ist ein galvanisch getrennter DC/DC-Wandler im Format einer halben „Tempopackung" für die 24-V-Spannungseben der Automatisierungstechnik, der 110 W für die PoE-Versorgung bereitstellt © Elec-Con