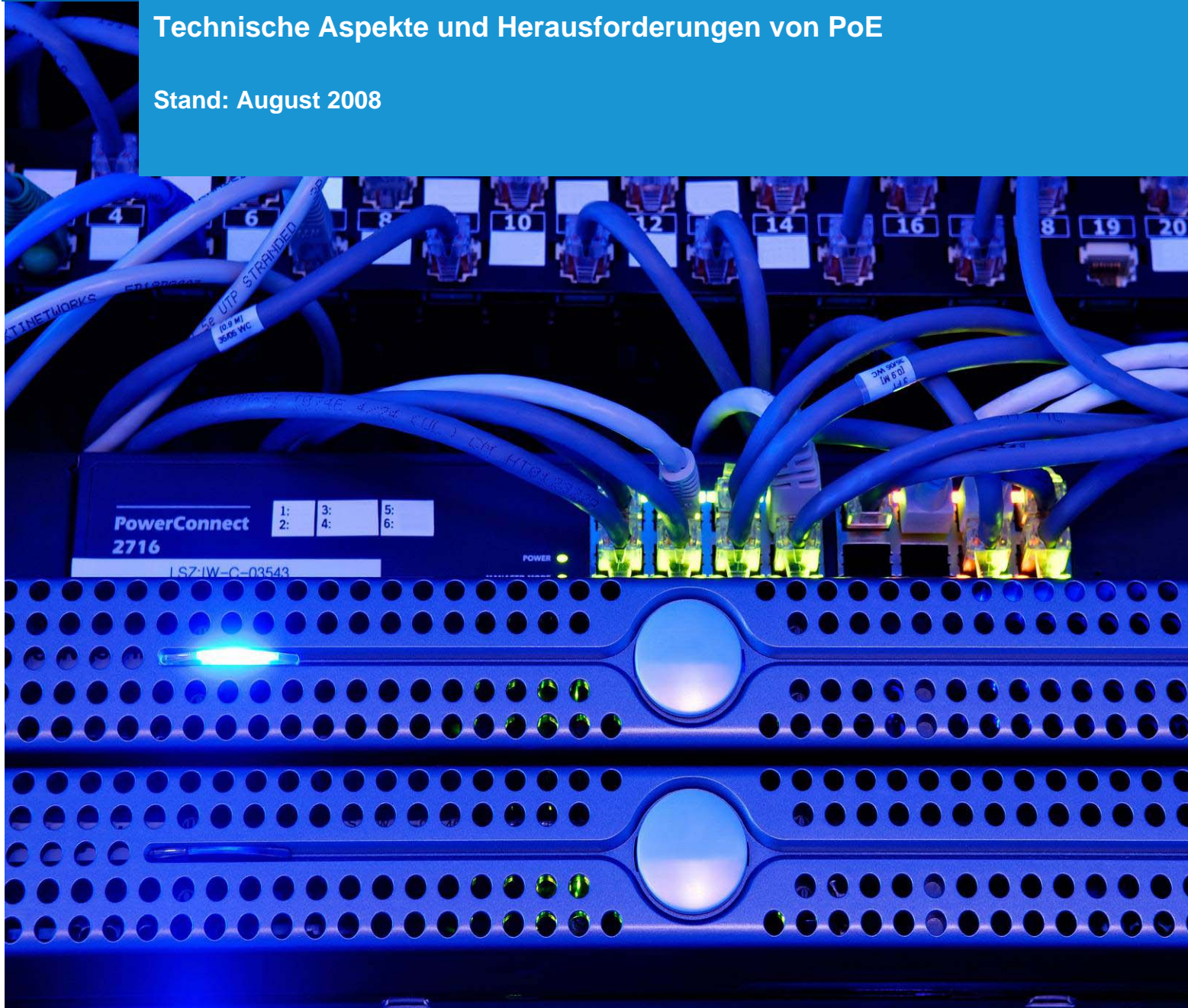


Der Strom kommt aus der Datensteckdose!

Technische Aspekte und Herausforderungen von PoE

Stand: August 2008



www.vaf-ev.de

Impressum:

Herausgeber:

VAF Bundesverband Telekommunikation e.V.

Otto-Hahn-Str. 16
40721 Hilden

Telefon: +49 (0) 2103 700-250

Telefax: +49 (0) 2103 700-106

E-Mail: info@vaf-ev.de

Internet: www.vaf-ev.de

Fachausschuss Technik

Fachleiter: Mathias Hein

Die vorliegende Ausgabe der „VAF-Technik Info“ wurde im Fachausschuss Technik erarbeitet und als Arbeitspapier verabschiedet. Im Fachausschuss bearbeiten Service- und Technikleiter aus herstellerunabhängigen Systemhäusern praxisorientierte Fragen zum Einsatz und Betrieb von IT-/TK-Systemen in Unternehmensnetzen.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|---------|
| 1. PoE: Stand der Technik und Praxis heute | Seite 3 |
| 1.1 Varianten und Mechanismen der Energieversorgung | Seite 4 |
| 2. Leistungsbegrenzung und Aushandlung der Stromversorgung | Seite 5 |
| 3. Fehlersuche an PoE-Komponenten | Seite 7 |
| 4. Aussicht auf mehr Leistung durch 802.3at? | Seite 8 |



Der Strom kommt aus der Datensteckdose!

Technische Aspekte und Herausforderungen von PoE

Mit Power over Ethernet (PoE) werden netzwerkfähige Geräte über das Ethernet-Kabel mit Strom versorgt. Erhöhter Stromhunger, falsche Leistungsberechnungen und Kabelspezifikationen führen oftmals zu Problemen in der Praxis.

Das Arbeitspapier des Fachkreises benennt die wichtigsten Mechanismen von PoE und typische Schwachstellen.

1. PoE: Stand der Technik und Praxis heute

Power over Ethernet (PoE) bezeichnet ein Verfahren, mit dem netzwerkfähige Geräte über das 8-adrige Ethernet-Kabel mit Strom versorgt werden. PoE bezeichnet heute den IEEE-Standard 802.3af („DTE Power over MDI“), der im Juni 2003 verabschiedet wurde. Der Hauptvorteil von Power over Ethernet besteht darin, dass man ein Stromversorgungskabel einsparen kann und so auch an schwer zugänglichen Stellen oder in Bereichen, in denen viele Kabel stören würden, Ethernet-Geräte installieren kann. Somit werden Installationskosten reduziert und zusätzlich, durch den Einsatz einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV), die Ausfallsicherheit der angeschlossenen Geräte erhöht. In der Praxis stößt PoE nach dem gegenwärtigen Standard jedoch zunehmend an seine Grenzen. Einerseits wirkt die ständig wachsende Zahl von Leistungsabnehmern (wie zusätzliche Access Points, VoIP-Endgeräte usw.), aber auch der Trend zu leistungsfähigeren Koppelkomponenten mit erhöhtem „Stromhunger“ in diese Richtung. Andererseits werden leistungsreduzierende Planungs- und Installationsfehler oft erst dann bemerkt, wenn das theoretische Leistungsmaximum auf Basis von 802.3af ausgereizt werden soll.

Der Fachausschuss Technik beschreibt mit diesem Arbeitspapier wichtige technische Aspekte von PoE in Verbindung mit einer kritischen Bestandsaufnahme heutiger Praxis sowie einem kurzen Ausblick auf mögliche Abhilfen durch 802.3at.

Wir erinnern uns: Gemäß dem Ohmschen Gesetz ist die Leistung das Produkt aus Strom und Spannung. Zur Verringerung der Verluste, sollte der Strom niedrig gehalten und gleichzeitig die Spannung möglichst hoch gewählt werden. Um den Sicherheitsrichtlinien (VDE) zu genügen, darf die Spannung 50 Volt nicht überschreiten. Die für den Leistungstransport genutzten CAT5/CAT6 Kabel lassen eine maximale Spannung von 1 Ampere bei 80 Volt zu.

Der ursprüngliche Power over Ethernet (PoE) Standard sieht eine Schutzkleinspannung von 48 Volt vor, wobei der tatsächlich von der Spannungsquelle zur Verfügung zu stellende Bereich bis 57 Volt geht. Dabei beschränkt der Standard die Stromaufnahme im Dauerbetrieb auf 350 mA. Zudem ist die maximale Speiseleistung auf 15,4 Watt, die maximale Leistungsaufnahme des Endgeräts nach Abzug der Leitungsverluste über eine Kabellänge von 100 Metern auf 13 Watt beschränkt. Während einer Startphase von 100 ms darf das Endgerät auch 500 mA abnehmen.

Höhere Ströme könnten in großen Kabelschächten zu Temperaturproblemen und an den Steckern, wegen ihrer Kontaktwiderstände zu Beschädigungen führen. Eine Twisted-Pair-Verkabelung besteht beim Ethernet aus vier Aderpaaren. Die acht Leitungen werden bei den Standards 10BaseT, 100BaseT und Gigabit-Ethernet unterschiedlich genutzt: 10/100BaseT nutzen nur die Leitungen 1,2,3 und 6, Gigabit-Ethernet nutzt alle acht Leitungen.

Häufig unterschätzt: Leistungsverlust im Kabel

Jedes Kabel stellt einen elektrischen Widerstand dar. Der Gleichstromwiderstand eines Twisted-Pair-Kabels darf nach den entsprechenden Spezifikationen auf 330 Meter Länge 28,6 Ohm nicht übersteigen. Geht man von einer maximalen Kabellänge von 100 Meter aus, ergibt sich ein Widerstand von 8,67 Ohm.

Aufgrund der geringen Kabelquerschnitte sind in der Spezifikation 802.3af 350 mA als maximale Stromstärke für Dauerbelastung vorgegeben, kurzzeitig sind als Einschaltstrom auch 400 mA erlaubt. Der Spannungsabfall berechnet sich aus dem Produkt von Strom und Widerstand und ergibt hier maximal 3 Volt. Es verbleibt am Endgerät eine Spannung von 45 V bei 350 mA, also eine maximale Leistung von 15,75 W. Der Standard gibt 12,95 Watt Maximalleistung für Endgeräte an. Die Verlustleistung berechnet sich aus dem Produkt der Verlustspannung und der Stromstärke und beträgt demnach circa 1 Watt. Dieser Wert ist bei der relativ kurzen Kabellänge vernachlässigbar.

Hinweis für die Praxis 1:

Diese Berechnung zeigt, dass die Verluste im vorgegebenen Bereich sehr gering sind. Der maximale Strom von 350 mA stellt für ordnungsgemäße Kabelinstallationen keinen Problemen dar. Bei schlechten Verbindungen kann es zu stärkeren Verlusten kommen, die bei einer Nutzung als reines Datenkabel nicht auffallen.

Beim Ethernet sind nur maximale Kabellängen von 100 Metern (Link-Längen) zulässig. Diese Berechnen sich wie folgt: 5m Patchkabel + 90 m fest installiertes Kabel + 5m Anschlusskabel zum Endgerät = 100 m. Bei vielen Ethernet-Verbindungen übersteigt die Linklänge jedoch die geforderten 100 Meter deutlich. Da bei diesen Überlängen die Datenverbindung in den meisten Fällen noch funktioniert, bemerkt man dies nicht. Wird jedoch der Strom aus der Datensteckdose für die Versorgung des Ethernet-Endgeräts entnommen, kann der Spannungsabfall auf der überlangen Link-Verbindung die geforderten Werte übersteigen und das Endgerät arbeitet nicht ordnungsgemäß oder lässt sich nicht aktivieren. In solchen Fällen empfiehlt es sich, die Kabellängen mit einem entsprechenden Messgerät zu überprüfen.

1.1 Varianten und Mechanismen der Energieversorgung

Es gilt: Die Spannungsquelle darf sich aussuchen, welche PoE-Variante verwendet wird. Der Stromabnehmer muss sich anpassen. Power over Ethernet war ursprünglich nur für 10/100BaseT spezifiziert. Daher wurden zwei verschiedene Varianten der Energieversorgung spezifiziert, Modus A und Modus B:

Modus A: Bei der Phantomspeisung leiten die Datenadern (1/2 und 3/6) die Energie. Dabei muss der Geräteentwickler beachten, dass die Polarität nicht festgelegt ist und er eine passende Eingangsbeschaltung vorsieht. Die eigentliche Auskopplung ist unproblematisch, da 10/100BaseT Geräte entsprechende Übertrager (Signaltransformatoren) für die Datenleitungen verwenden, um das Gerät galvanisch vom LAN zu trennen.

| Pin | Leitung |
|-----|------------------|
| 1 | TX+, PoE/ Ground |
| 2 | TX-, PoE/Ground |
| 3 | RX+, PoE/-48V |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | RX-, PoE/-48V |
| 7 | |
| 8 | |

Bild: Belegung des RJ45-Steckers bei Spannungseinspeisung nach Modus A

Modus B: Alternativ zur Phantomspeisung darf die Stromquelle auch die beiden ungenutzten Aderpaare (Spare Pairs, 4/5 und 7/8) nutzen. Die Stromversorgung über nicht benutzte Aderpaare wirkt sich bei 10Base-T und bei 100Base-TX nicht störend aus.

| Pin | Leitung |
|-----|-------------|
| 1 | TX+ |
| 2 | TX- |
| 3 | RX+ |
| 4 | PoE/ Ground |
| 5 | PoE/ Ground |
| 6 | RX- |
| 7 | PoE/-48V |
| 8 | PoE/-48V |

Bild: Belegung des RJ45-Steckers bei Spannungseinspeisung nach Modus B

Die gleichzeitige Nutzung von Phantomspeisung und Spare Pairs ist explizit untersagt.

Die Stromversorgung der Powered Devices kann durch so genannte Endspan-Devices (z.B. Switches) oder Midspan-Devices (Einheiten zwischen Switch und Endgerät) erfolgen. Strom fließt entweder über die 4 ungenutzten Drähte oder aber über die 4 Drähte, die zur Datenübertragung genutzt werden.

Mit Hilfe von Midspan-Systemen wird die Stromversorgung aus der Koppelkomponente heraus genommen. Dies kann beispielsweise beim Einsatz älterer Switches (ohne Unterstützung von 802.3af) sinnvoll sein. Die Midspan-Systeme sitzen zwischen Switch und Stromabnehmer und speisen nur die Energie ein, sie schleifen die Daten unverändert durch. Aufgrund des zusätzlichen Platzbedarfs und der zusätzlich notwendigen Patch-Kabel in Verteilerschränken stehen inzwischen auch Patchpanels (Verteilerfelder, POE-Patchpanel) zur Verfügung, die den Strom liefern. Diese ersetzen die herkömmlichen Patchpanels in den Verteilerschränken. Durch entsprechende Managementsoftware können bei diesen Verteilerfeldern die einzelnen Ports stromfrei oder stromführend definiert werden.

PoE und Gigabit-Ethernet

Hinweis für die Praxis 2:

Bei Gigabit-Ethernet funktioniert prinzipiell nur die Phantomspeisung, denn 1000BaseT nutzt alle vier Aderpaare zur Datenübertragung. Bei Gigabit-Ethernet ist PoE zwar prinzipiell möglich, aber aus hier nicht weiter erörterten Gründen wurde die Realisierung in dem 802.1af Standard nicht aufgenommen. Somit gibt es offiziell keine PoE-tauglichen 1000Base-T-fähige Endgeräte.

Einige Hersteller haben inzwischen eigene proprietäre Implementierungen von Gigabit-Ethernet mit PoE vorgenommen. Diese Geräte arbeiten nur mit den Chipsets bzw. Lösungen des gleichen Herstellers ordnungsgemäß.

2. Leistungsbegrenzung und Aushandlung der Stromversorgung

Die Herausforderung für die Hersteller proprietärer PoE-Lösungen bestand früher darin, Schäden an nicht PoE-fähigen Endgeräten nach Möglichkeit zu vermeiden. Obwohl die Adern 4, 5, 7 und 8 gemäß dem Ethernet-Standard eigentlich nicht belegt sind, bedeutet das nicht, dass es nicht doch Netzwerkkarten gibt, bei denen die entsprechenden Pins irgendwie aufgelegt sind. Liegt an einem solchen Pin versehentlich eine Spannung an, kann dies zu irreparablen Schäden am Gerät führen. 802.3af löst dieses Problem durch ein Resistive Power Discovery Verfahren.

Bei diesem Verfahren wird in drei Schritten die Leistungsklasse und damit die anzulegende Spannung ausgehandelt sowie festgestellt, welche Adern „zuständig“ sind.

1. Im ersten Schritt legt die Spannungsquelle (Power Sourcing Equipment; PSE) eine sehr geringe Spannung auf das Kabel. Diese reicht gerade noch aus, um zu ermitteln, ob der Innenwiderstand des Verbrauchers zwischen 19 und 26,5 kOhm liegt (Detection Signal). Ist das der Fall, wird die Kapazität geprüft, die unter 150 nF liegen muss, was in der Summe nach 802.3af als Merkmal für PoE-Fähigkeit gilt. Sollte eines der beiden Kriterien nicht erfüllt sein, bricht das PSE die Prozedur ab.
2. Im zweiten Schritt, der so genannten Classification, wird die Spannung gerade so weit erhöht, dass der Verbraucher (Powered Device, kurz PD) seinerseits nach vorgegebenen Regeln mitteilen kann, welcher der vier Leistungsklassen er angehört.
3. Im dritten Schritt nun kann das PSE die gewünschte Spannung anlegen und das Endgerät nimmt den Betrieb auf. Dieser Vorgang geschieht automatisch, es ist kein Benutzereingriff nötig. Bei der Auslegung der Geräte ist die Polung irrelevant, da Endgeräte nach Spezifikation über eine Diodenbrücke verfügen und damit verpolungssicher sind.

Als zusätzliche Sicherung implementiert 802.3af einen Disconnect-Schutzmechanismus. Sobald ein Powered Device vom LAN entfernt wird, schaltet sich am PSE die Stromversorgung des entsprechenden Ports automatisch ab. Dies beugt Schäden durch ein versehentliches Vertauschen von PoE-fähigen und Standard-Geräten an der Leitung vor.

Häufig nicht gemacht: Leistungsberechnungen

Beim Einsatz von Power over Ethernet bedarf die Infrastruktur besonderer Aufmerksamkeit: Adäquate Verkabelung, Berechnung der benötigten Leistung, Kühlung der Verteilerräume und das Management einer solchen Lösung sind wichtige Voraussetzungen zur Nutzung von PoE.

Der Switch muss über genügend Leistung verfügen, um sich selbst und die angeschlossenen PoE-fähigen Endgeräte zu versorgen. Der Standard sieht eine maximale Leistung von 15,4 Watt vor. Dies hat Auswirkungen auf die gesamte Stromversorgung: die benötigte Leistung, die Verteilung des Stroms im Switch, die Kontingentierung des Stroms durch den Switch und die Anforderungen an Schaltschrank und Kühlung.

Hinweis für die Praxis 3:

Ein Schaltschrank, der 100 Endgeräte versorgt, muss nur für die Powered Devices bereits 1540 Watt bereitstellen. Da die meisten Switches zwischen 100 und 500 Watt für die eigene Stromversorgung benötigen, beträgt das gesamte Leistungsbudget zwischen 2000 und 4000 Watt. Dieses Budget muss die Strominfrastruktur abdecken. Zudem ist bei der Kalkulation der Kühlungsleistung der Klimaanlage im Verteilerraum die veränderte Wärmeabstrahlung der Switches zu berücksichtigen.

Einige Switches nutzen zur Stromversorgung der PoE-Komponenten das für die Redundanz der Stromversorgung optionale Netzteil. Möchte man die Stromversorgung des Switches aus Sicherheitsgründen redundant auslegen, kann es passieren, dass das redundante Netzteil bereits für die PoE-Versorgung genutzt wird.

Darüber hinaus sollte eine eventuell vorhandene unterbrechungsfreie Stromversorgung überprüft werden, um einen erhöhten Leistungsbedarf bei Stromausfall abzusichern.

Tabelle: PoE-Leistungsklassen

| Klasse | Verwendung | Maximale Speiseleistung (PSE) | Maximale Entnahmeleistung (PD) |
|--------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 0 | Default | 15,4 W | 0,44 bis 12,95 W |
| 1 | optional | 4,0 W | 0,44 bis 3,84 W |
| 2 | optional | 7,0 W | 3,84 bis 6,49 W |
| 3 | optional | 15,4 W | 6,49 bis 12,95 W |
| 4 | optional (reserviert) | 15,4 W | nicht erlaubt (reserviert) |

PoE und USV-Anlagen

Bei der Absicherung von VoIP-Installationen gegen Stromausfall bestehen gravierende Unterschiede zu klassischen Telefonanlagen. Bei VoIP-Anlagen ist jede im VoIP-Netz integrierte Kommunikationskomponente anfällig gegen Störungen oder Ausfälle der Stromversorgung. Heute gehört zwar in vielen Unternehmensnetzen eine USV zur Stromabsicherung für Server und wichtigen Routern/Switches zur Grundausstattung. Meist sind die Anlagen aber nicht in der Lage, die gesamte VoIP-Installation (bis hin zu den Etagen-Switches) zusätzlich mitzuversorgen. Aus diesem Grund ist es notwendig, für die Telekommunikation im VoIP-Netz ein eigenes Notstromkonzept zu entwickeln, um eine durchgängige Kommunikation gewährleisten zu können.

Hinweis für die Praxis 4:

Die Überbrückungszeit liefert einen wichtigen Eckpunkt zur Berechnung der USV. Im VoIP-Umfeld haben Erfahrungen gezeigt, dass bei 70 bis 80 Prozent aller Arbeitsplätze etwa 30 Minuten ausreichen, um Vorgänge ordentlich zu beenden oder letzte Maßnahmen zu treffen, bevor die Kommunikation nicht mehr umfassend zur Verfügung steht. Die restlichen 20 bis 30 Prozent entfallen auf Kommunikationsgeräte, die mindestens 1 Stunde oder länger zur Verfügung stehen müssen.

Bei der Dimensionierung einer USV für eine VoIP-Umgebung, müssen alle aktiven Komponenten, die ein VoIP-Netz beeinflussen, mit in die Kalkulation einbezogen werden. Da es hierfür keine Tabellen oder feste Formeln gibt, sollten die Leistungswerte für die USV durch eine Leistungsmessung ermittelt werden. Als Faustformel für die VoIP-Praxis gilt: der Leistungsbedarf pro Anwender liegt zwischen 20 und 40 Watt.

Die Kosten für eine adäquate USV liegen nach Schätzungen von APC bei etwa 4 bis 6 Prozent des gesamten Investitionsvolumens für die komplette VoIP-Lösung (www.apc.com).

3. Fehlersuche an PoE-Komponenten

Treten Probleme in der Netzinfrastruktur auf, kann dies der Beginn einer langwierigen Suche sein. Für die Fehlersuche im PoE-Umfeld bedarf es spezieller Messgeräte. Diese dürften noch in den wenigsten Netzwerkabteilungen verfügbar sein. Ein PoE-Tester signalisiert dem PSE über Resistive Power Discovery den Leistungsbedarf. Für den ersten Schritt der Geräteerkennung schreibt die IEEE einen Widerstandsbereich von 19 bis 26,5 kOhm vor. Nur wenn der Widerstand in diesem Bereich liegt, darf das PSE davon ausgehen, dass hier ein PoE-fähiges Endgerät vorliegt. In diesem Fall muss das PSE auch die Resistive-Power-Discovery-Prozedur initiieren.

Die Prüfvorrichtung muss den Bediener in die Lage versetzen, den Widerstand über den zulässigen Bereich hinaus einstellen zu können, um zu prüfen, ob das PSE tatsächlich nur in diesem Bereich anspricht. Darüber hinaus sollte der erhöhte Strom für Einschaltvorgänge getestet werden können. Der höhere Strom von 400 mA, genau genommen eine Überlast, muss für mindestens 60 ms zur Verfügung stehen, bevor das PSE abschaltet. Sollte das nicht gegeben sein, kann das dazu führen, dass sich ein angeschlossenes PD nicht einschalten lässt. Das PSE muss bei Überschreiten der Grenzwerte tatsächlich abschalten. Danach muss der Simulator dem PSE die frei wählbare Leistungsklasse signalisieren.

Die Prüfvorrichtung muss in der Lage sein, für einen kurzen Zeitraum die zur Verfügung gestellte Leistung aufzunehmen und dabei die Stabilität der Versorgungsspannung zu prüfen. Darüber hinaus sollte eine Überlastprüfung in jeder Leistungsklasse stattfinden, schließlich will man ja seine Endgeräte geschützt wissen.

Bei einem Kurzschluss darf der Strom kurzfristig (Overshoot Peak Current) 5 Ampere nicht überschreiten und soll nach spätestens 2 Millisekunden unter 450 mA fallen. Hier darf er 50 bis 75 ms verweilen, dann muss der PSE abschalten.

4. Aussicht auf mehr Leistung durch 802.3at?

Kaum war der PoE-Standard definiert, wurden Stimmen laut, die mehr Leistung forderten. Die ersten Geräte dieser Art sind mit den neuen WLAN-Access Ports (APs) für den schnellen bis zu 300 Megabit/Sekunde schnellen 802.11n-Standard bereits auf dem Markt. Werden in diesen APs beide Funkeinheiten (Dual Radio) aktiviert, übersteigt der Strombedarf die vom 802.af Standard maximal zur Verfügung gestellte Leistung von 12,95 Watt. Einige Geräte erfordern bis zu 20 Watt an Leistung. Da der übertragenen Leistung bei existierender Kabelinfrastruktur enge Grenzen gesetzt sind, helfen sich einige Hersteller damit, dass zwei 100 MBit/s schnelle Ethernet Ports in den AP integriert werden. Beide Ports müssen verkabelt werden und über beide Kabel wird der notwendige Strom vom AP gezogen.

Diese Interimslösung erlaubt natürlich keine saubere technische Problembhebung. Außerdem erhöht es die Projektkosten durch die zusätzlichen Komponenten (Port im AP, extra Kabel, weiterer Port am Switch) erheblich.

Aus diesem Grund hat sich auf Druck der Hersteller die 802.3at-Arbeitsgruppe gegründet. Das Hauptziel dieser Arbeitsgruppe ist die Entwicklung eines Standards, der eine Leistung von mindestens 30 Watt pro Gerät über das Ethernet-Kabel zur Verfügung stellt. Selbstverständlich soll der neue Standard 802.3at rückwärtskompatibel zu 802.3af sein, sodass vorhandene 802.3af Powered Devices auch von 802.3at betrieben werden können.

Die Arbeitsgruppe arbeitet gegenwärtig an einer ganzen Reihe von Designgrundlagen. Hierzu zählen Fragen ob die Leistung nur über zwei der vier Paare eines Ethernet-Kabels oder über alle vier übertragen werden soll, wie im PSE (Power Sourcing Equipment) die Leistungserfordernisse der PDs (Powered Device) ermittelt werden können, wie viel Strom über ein CAT5 Kabel übertragen werden kann und wie mit der bei höherer Leistung zusätzlich entstehenden Hitze speziell in Kabelbündeln umgegangen werden soll.

Die 802.3at Arbeitsgruppe arbeitet momentan mit Hochdruck an Lösungen, so dass der Standard möglicherweise noch Ende dieses Jahr verabschiedet werden könnte. Spürbare Effekte im Markt für Netzwerkkomponenten könnten sich dann schon bald ergeben.

August 2008

Literaturempfehlungen

Der Link <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3af-2003.pdf> stellt den vollständigen IEEE-802.3af-Standard zum Download zur Verfügung.

Die Webseite www.poweroverethernet.com bietet eine Vielzahl unabhängiger Informationen zum Thema Power over Ethernet.