

Schlussbericht März 2005

Effiziente Stromversorgung mittels Power over Ethernet (PoE)

ausgearbeitet durch
Alois Huser
Encontrol GmbH
Bremgartenstrasse 2, 5443 Niederrohrdorf

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Weitere Informationen über das Programm „Elektrizität“ des Bundesamts für Energie stehen auf folgender Web-Seite zur Verfügung:

www.electricity-research.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	3
3	Anwendungen	4
4	Systembeschreibung	5
4.1	Funktionsweise	5
5	Abgrenzungen zu anderen Technologien.....	8
5.1	USB	8
5.2	FireWire (IEEE1394)	8
5.3	Powerline	9
5.4	Gebäudeleitsysteme	9
5.5	Spezifikationen	9
5.6	Vergleich der Systeme	10
6	Markt.....	11
7	Energieaspekte	12
7.1	Verbraucher	12
7.2	Zentrale Stromversorgung für PoE.....	12
7.3	Vergleich PoE mit lokalen Netzteilen.....	14
7.4	Mögliche Zukunft von PoE	19
8	Empfehlungen aus der Perspektive der Energieeffizienz	20
8.1	Hersteller von Geräten	20
8.2	Anwender	20
8.3	Ausbildung	20
8.4	Forschung	20
	Literaturverzeichnis	21

1 Zusammenfassung

Kleingeräte bis etwa 15 W Leistung, z. B. Telefone für das Internet, Web-Kameras, Hubs, Festplatten, Musikendgeräte usw., können bei einer entsprechenden technischen Ausrüstung die elektrische Energie auch über das Ethernet-Datenkabel beziehen. Diese Technik wird als *Power over Ethernet (PoE)* bezeichnet. Bei *PoE* kann mit dem Datenkabel die Energieversorgung zentral verwaltet und gegen Unterbrüche abgesichert werden.

Gemäss Simulationsberechnungen ist *PoE* bei Leistungen bis etwa 8 bis 9 W die energetisch günstigere Lösung als wenn dezentrale hocheffiziente Schaltnetzteile eingesetzt werden. Falls dezentral keine effizienten Schaltnetzteile eingesetzt werden, ist *PoE* in jedem Fall die energetisch günstigere Lösung.

Die Anwender sollten in der Planung darauf achten, dass die Auslastung der zentralen Stromversorgungsgeräte für eine hohe Energieeffizienz grösser als 10 Prozent ist.

Die Hersteller von Geräten sollten auf eine energieeffiziente Schaltung achten, das heisst, möglichst wenige Spannungszwischenstufen einsetzen und die Komponenten der Stromversorgung nicht überdimensionieren.

Abstract: Efficient supply of power by means of *Power over Ethernet (PoE)*

With the corresponding technical equipment, small units with power of up to around 15 W, e.g., telephones for the Internet, Web cameras, hubs, fixed disks, music terminals, etc., can also obtain their electrical current over the Ethernet data cable. This technology is known as *Power over Ethernet (PoE)*. With *PoE*, the power supply can be managed centrally with the data cable and can be secured against power interruptions.

According to simulation calculations, *PoE* is a more favorable solution from an energy viewpoint than the use of decentralised, high efficiency switching power units for power levels up to around 8 to 9 W. If no efficient switching power units are to be used in a decentralised manner, *PoE* is more favourable solution energetically in any case.

When planning, the users should ensure that the loading of central power supply units is greater than 10 percent to ensure a high energy efficiency.

The manufacturers of devices should pay attention to an energy-efficient circuitry, that is, use as few intermediate voltage levels as possible and not over-dimension the components of the power supply.

Résumé: Une alimentation efficace au moyen *Power over Ethernet (PoE)*

Petits appareils d'une puissance de 15 W environ, p.ex. téléphones pour Internet, caméras Web, manchons, disques durs, terminaux de musique etc., peuvent s'alimenter électriquement aussi par le câble de données *Ethernet* moyennant un équipement technique correspondant. Cette technique est désignée comme *Power over Ethernet (PoE)*. Dans le cas de *PoE* l'alimentation en énergie peut être gérée centralement avec le câble de données et être sécurisée contre les interruptions.

Selon des calculs de simulation, *PoE* est pour des puissances allant jusque env. 8 à 9 W une solution plus économique du point de vue énergétique que lorsque des blocs d'alimentation combinatoires décentralisés de haute efficacité sont utilisés. Au cas où aucun bloc efficace de ce genre ne serait mis en oeuvre, *PoE* constitue en tout cas la meilleure solution énergétique. Les utilisateurs devraient tenir compte dans leur planification du fait que la charge des appareils centraux d'alimentation électrique doit être supérieure à 10 pour cent afin d'obtenir une efficacité énergétique élevée. Les constructeurs d'appareils devraient veiller à un montage énergétiquement efficace, c'est-à-dire, mettre aussi peu d'étages intermédiaires de tension que possible et à ne pas surdimensionner les composants de l'alimentation électrique.

2 Einleitung

Im August 2003 verabschiedete das *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* eine Erweiterung zum Standard 802.3, welcher Ethernet spezifiziert. Dort schreibt das IEEE vor, wie über das Ethernet-Kabel elektrische Energie übertragen werden kann (*Power over Ethernet (PoE)*). Damit wird eine Stromversorgung von Kleingeräten (bis etwa 15 W Leistung), wie z. B. IP-Telefone, Web-Kameras, Hubs, Festplatten, Musikendgeräte usw. über das Datenkabel möglich. Dank dieser Normierung dürfte die Energieversorgung solcher Geräte über das LAN in Zukunft immer mehr Verbreitung finden. Die Industrie weist auf folgende Vorteile hin:

- Verwendung von nur einem Kabel zu den Endgeräten
- zentrale Verwaltung und Absicherung der Energieversorgung: Eine zentrale unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) kostet erheblich weniger als dezentrale Lösungen.

Inzwischen sind schon Endgeräte und zentrale Stromversorgungsgeräte mit 1 bis 96 Ports auf dem Markt.

Auf den ersten Blick ist nicht klar, ob eine zentrale Versorgung energetische Vorteile bringt. Eine zentrale Stromversorgung kann bei geeigneter Auslegung einen höheren Wirkungsgrad aufweisen als mehrere kleine Stromversorgungen. Andererseits sind die Verluste der Kabelübertragung und die trotzdem notwendige Spannungswandlung bei den Endgeräten zu berücksichtigen.

Das Ziel der Studie ist, Wissen und Umsetzungsvorschläge über die aus energiewirtschaftlicher Sicht optimale Stromversorgung von kleinen Endgeräten zu erarbeiten, welche mit einem Ethernet-Kabel verbunden sind.

3 Anwendungen

In den folgenden Gebieten könnte PoE zur Anwendung gelangen:

- Telefonie über Ethernet
- WEB-Kameras
- Wireless Access Points
- Industrielle Automation
- Vernetzter Haushalt
- Sicherheits- und Überwachungssysteme
- Point of Sales (POS) - Verkaufsterminals
- Lichtsteuerungssysteme
- Spielkonsolen
- Gebäudeleitsystemen

Die Investitionen in ein PoE-System lohnen sich vor allem dort, wo zur Versorgung nachträglich 230 Volt Steckdosen installiert werden müssten. Durch die zentrale Verwaltung und Absicherung der Stromversorgung kann ein zusätzlicher Nutzen entstehen:

- Absicherung durch unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlage
- Geräte zentral ein- und ausschalten, beziehungsweise kaltstarten

4 Systembeschreibung

4.1 Funktionsweise

PoE kann in normalen Ethernet-Verbindungen eingesetzt werden.

PoE ist zur Zeit für die Ethernetübertragung 10/100 Base-T¹ spezifiziert, nicht aber für Gigabit-Ethernet. Ein vollständiges Twisted-Pair-Kabel² wie es für die Ethernet-Übertragung benutzt wird, besteht aus vier Adernpaaren, d.h. acht Leitungen. Das 10/100 Base-T-Ethernet benutzt zur Datenübertragung nur die Leitungen 1,2 und 3,6. Die Auskopplung der Daten erfolgt induktiv. Die Geräte sind somit galvanisch vom Netz getrennt.

Mit PoE können zwei verschiedene Arten der Stromversorgung realisiert werden (Bild 4-1):

- Übertragung der Energie über die beiden unbenutzten Adernpaare 4/5 und 7/8.
- Übertragung der Energie über die Datenadern 1/2 und 3/6. Die galvanische Netztrennung wird damit teilweise wieder aufgehoben. Die Polarität ist nicht festgelegt.

Die folgenden technischen Bedingungen gelten (IEEE Standards 802.3 af, 2003):

- Spannung: 48 V Gleichspannung
- Max. Strom: 350 mA
- Max. Leistung: 15.4 W
- Max. Kabellänge: 100 m

Als Stromversorgung kann ein separates Gerät (Bild 4-2) dienen, welches zwischen den Switch³ und die Endgeräte geschaltet wird (zwischengeschaltete Quelle, engl.: Midspan Power Insertion Equipment). Die Stromversorgung kann auch direkt durch den Switch erfolgen.

¹ 10-Base-T: Übertragung mit einer Rate von max. 10 MBit/s, 100-Base-T: Übertragung mit einer Rate von max. 100 MBit/s

² Twisted-Pair: immer zwei Adernpaare sind verdreht im Kabel eingebettet

³ Switch: Ein Switch ist ein elektronisches Gerät zur Verbindung mehrerer Computer bzw. Netzwerk-Segmente in einem lokalen Netzwerk (LAN)

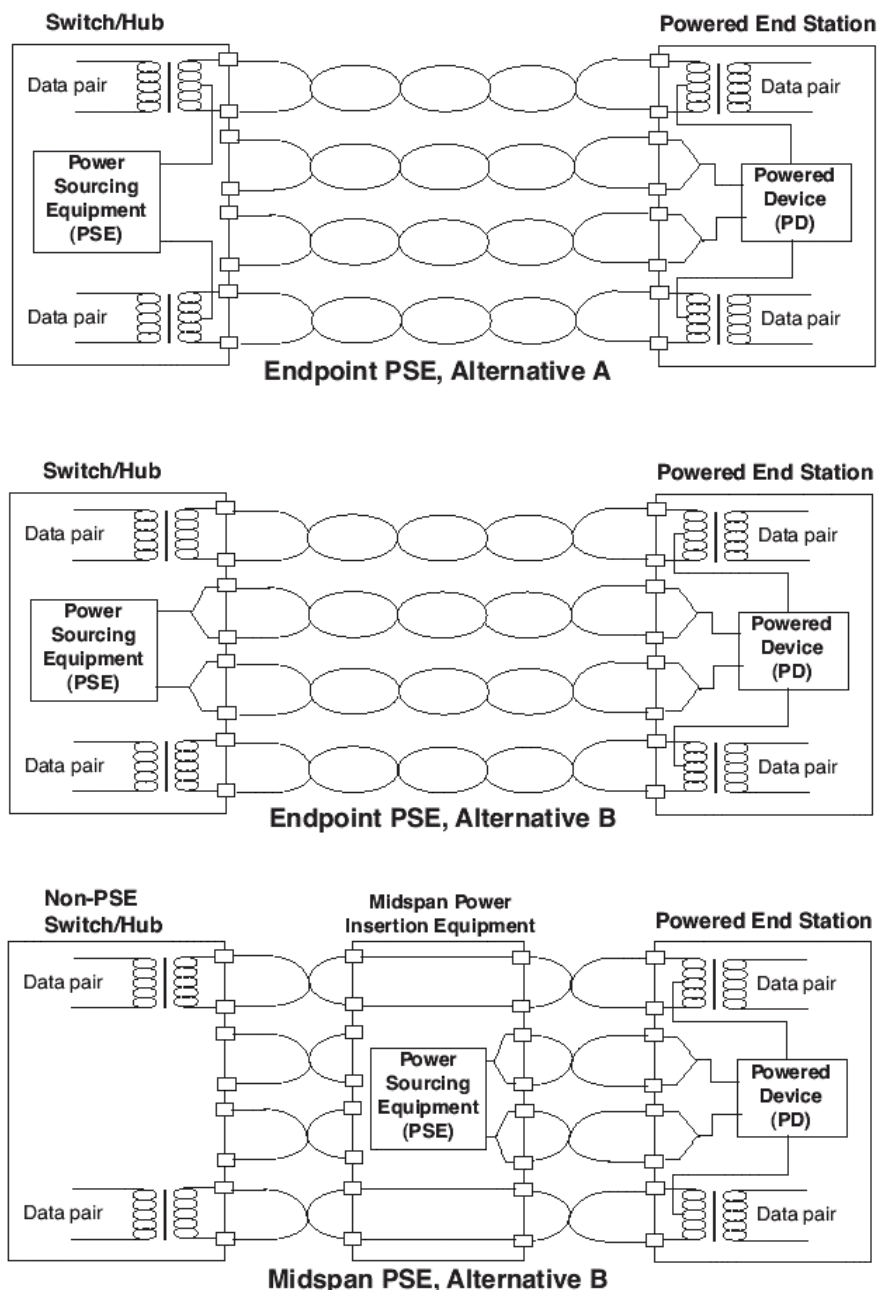


Bild 4-1 Varianten der Stromversorgung mit PoE (Quelle IEEE Standards 802.3 af, 2003)

Damit die Sicherheit von älteren Netzwerkkomponenten nicht gefährdet wird, muss der Stromversorger vor dem Einschalten der Stromversorgung die PoE-Verbraucher identifizieren. Dies erfolgt durch die Messung des Innenwiderstands des Verbrauchers (Messschaltung mit Leerlaufspannung von 30 Volt und Strom von maximal 5 mA). Dieser muss zwischen 19 und 26.5 kΩ liegen und darf eine maximale Kapazität von 10 µF aufweisen (Resistive Power Discovery).

Damit ein Stromversorgungsgerät seine verfügbare Leistung optimal auf die angeschlossenen Verbraucher verteilen und seine Maximalleistung begrenzen kann, gibt es für die Verbraucher definierte Leistungsklassen (Tab. 4-1), welche vom Versorger detektiert werden können. Dazu wird bei einer bestimmten Spannung die Stromaufnahme der Verbraucher gemessen.

Klasse	Detektionsstrom zur Klasseneinteilung [mA]	Max. Speiseleistung (PSE) [W]	Max. Entnahmeleistung [W]
0	0 - 5	15.4	0.44 – 12.95
1	8 - 13	4.0	0.44 – 3.84
2	16 - 21	7.0	3.84 – 6.49
3	25 – 31	15.4	6.49 – 12.95
4	35 – 45	15.4	reserviert

Tab. 4-1 Leistungsklassen nach dem Standard 802.3 af

Als Stromversorger gibt es spezielle Switches, welche ein PoE auf jedem Ausgang anbieten. Gute Switches mit PoE bieten auch ein integriertes Powermanagement an. Damit kann die verfügbare Stromversorgungsleistung optimal auf die angeschlossenen Ports verteilt oder gezielt einzelnen Ports prioritär zugeordnet werden. Es ist damit auch möglich, dass die Stromversorgung nicht unnötig überdimensioniert werden muss und der Wirkungsgrad besser wird.

Wenn nur ein einzelnes PoE-Gerät versorgt werden muss, so bieten sich sogenannte Single-Port-Injektoren an. Diese sind auf dem Markt für einige 10 Euros erhältlich.

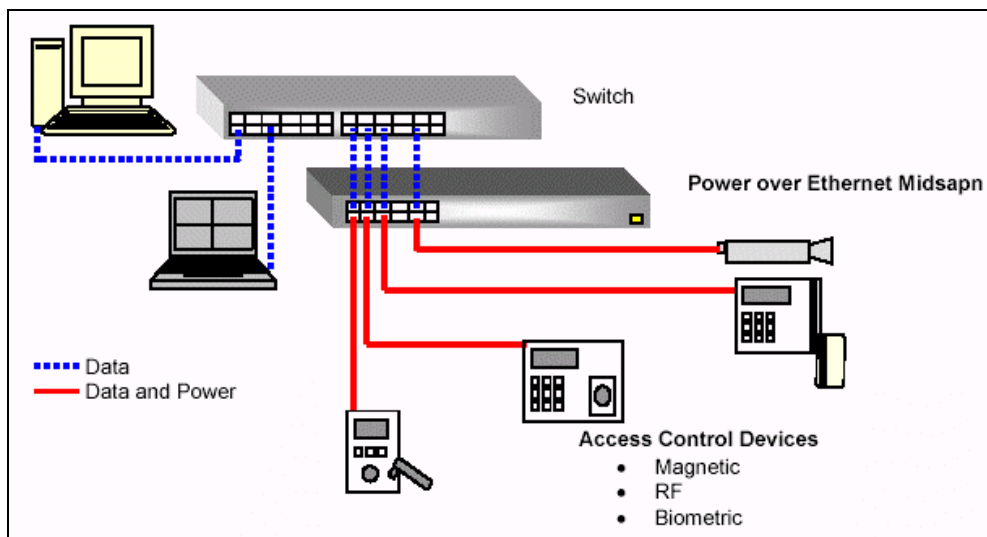


Bild 4-2 Systemarchitektur mit der Stromversorgung über ein Midspan-Gerät (Quelle: PowerDsine, 2004)

5 Abgrenzungen zu anderen Technologien

5.1 USB

Der *Universal Serial Bus (USB)* ist ein Bussystem zum Datenaustausch zwischen einem Computer und externen Geräten. Durch die relativ hohen Datenraten und die automatische Erkennung von Geräten und deren Eigenschaften ist der USB zum Anschluss sehr verschiedener Gerätearten von Maus und Tastatur bis zu Festplatten und Kameras geeignet. USB erlaubt es einem Gerät mit 1,5 MBit/s (Low Speed), 12 MBit/s (Full Speed) oder mit 480 MBit/s (High Speed, ab USB 2.0) Daten zu übertragen. Ein USB-Gerät hat keine Möglichkeit, mit einem anderen USB-Gerät zu kommunizieren, ohne dass sämtliche Daten zuerst in den Host gelesen und von dort wieder hinausgeschrieben werden.

Ein USB-Kabel benötigt nur vier Adern: zwei für die Spannungsversorgung mit 5 Volt (maximal 500 mA, 2.5 Watt) und zwei für die Datenübertragung. Die Länge des Kabels vom Stromversorger zum Verbraucher ist auf fünf Meter begrenzt.

5.2 FireWire (IEEE1394)

FireWire ist der von der Firma *Apple* geprägte Markenname für eine in den Funktionen reduzierte Implementierung des Schnittstellen- und Protokollstandards IEEE 1394. Eingesetzt wird *FireWire* heute vor allem zur Übertragung von digitalen Videodaten, beispielsweise zwischen DV-Camcorder und PC, aber auch zum Anschluss externer Massenspeicher wie DVD-Brenner, Festplatten etc. oder zur Verbindung von Unterhaltungselektronikkomponenten, beispielsweise bei Sony unter dem Namen *i.LINK*.

Die Spezifikation *IEEE 1394a* (IEEE 1394a, 2000) beschreibt die folgenden Eigenschaften:

- 100, 200 oder 400 MBit/s Übertragungsgeschwindigkeit
- Geräte können bei laufendem Betrieb angeschlossen werden und werden automatisch erkannt *hot plug* und *hot unplug*
- integrierte Stromversorgung für Geräte (8 bis 40 VDC, 1.5A, max. 60 W) bei der Verwendung eines sechspoligen Anschlusses
- Anschluss über
 - dünnes und damit flexibles 6-adriges Kabel (4 Adern für Datentransfer, 2 für Stromversorgung) oder
 - 4-adriges Kabel (4 Adern für Datentransfer, keine Stromversorgungsleitungen)
- keine Terminatoren an den Kabelenden erforderlich
- Datenübertragung in beide Richtungen (bi-direktional)
- 4.5m max. Entfernung zwischen 2 Geräten (bei 400 MBit/s)
- bis 63 Geräte anschließbar je Bus

Die meisten tragbaren Computer bieten, wenn sie einen FireWire-Anschluss aufweisen, nur die vierpolige Version an. Eine zentrale Stromversorgung ist damit nicht möglich. Generell ist anzumerken, dass in der IT-Welt die FireWire-Technologie viel weniger verbreitet ist als die USB-Technologie.

2002 wurde die Spezifikation überarbeitet. In der überarbeiteten Spezifikation IEEE 1394b (IEEE 1394b, 2002) wird die Übertragungsgeschwindigkeit in zwei Schritten auf 800 und 1600 MBit/s vervierfacht und in der Architektur wird bereits eine weitere Verdoppelung auf 3200 MBit/s vorgesehen. 1394b nutzt wie das alte FireWire zwei verdrehte Adernpaare für die Datenübertragung, verwendet aber eine ganz andere Signalkodierung und andere Pegel. Die neuen Stecker sind 9-polig und bleiben aber in etwa so groß wie der bisherige 6-polige FireWire-Stecker. Zwei der neu hinzugekommenen Pins führen je eine Masseleitung, die mit der Abschirmung des zugehörigen Adernpaars verbunden ist, der dritte ist für zukünftige Erweiterungen vorgesehen und momentan unbelegt. 1394b eröffnet neue Transportwege, neben der klassischen bis zu 4,50 m langen „Kurzstreckenverbindung“ erlaubt es auch den Einsatz von CAT-5-UTP-Kabeln bis zu 100 m Länge.

FireWire bietet die Möglichkeit der *Peer-To-Peer-Kommunikation*, d.h. ein Gerät kann die Kommunikation mit einem anderen Gerät aufbauen, ohne dass die Steuerung durch einen Host erforderlich ist. Über *FireWire* ist beispielsweise auch der Aufbau eines Netzwerkes möglich.

5.3 Powerline

Powerline Communications (PLC) ist eine Technologie, welche die Übertragung von Informationen (Daten, Sprache, Bilder) über das elektrische Verteilsystem (230 V – Hausinstallation) erlaubt. Es sind heute Datenübertragungsraten bis zu 14 Mbit/s möglich die Daten können verschlüsselt übertragen werden.

5.4 Gebäudeleitsysteme

Verschiedene in der Gebäudetechnik eingesetzte Bussysteme übertragen neben den Daten auch die Energie für die angeschlossenen Sensoren oder Aktoren. Als Beispiel sei hier der europäische Installationsbus (EIB) erwähnt. Diese Bussysteme werden ausschliesslich für die Gebäudetechnik eingesetzt und sind daher in dieser Studie nicht weiter behandelt.

5.5 Spezifikationen

Das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) veröffentlichte eine Erweiterung zum Standard 802.3, welche eine Stromversorgung über das Ethernet von einem Stromversorger⁴ zu einem Verbraucher⁵ spezifiziert [IEEE Standards 802.3 af, 2003].

FireWire ist durch die Spezifikationen 1394 der IEEE beschrieben (IEEE 1394b, 2002; IEEE 1394a, 2000).

Der *Universal Serial Bus (USB)* wurde durch eine Gruppe von Unternehmen spezifiziert (Implementers Forum, Inc., 2004).

Das *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)* hat verschiedene Standards zur Technologie der *Powerline Communication* veröffentlicht (ETSI TS 101 896 V1.1.1, 2001-02; ETSI TS 101 867 V1.1.1, 2000-11)

⁴ Stromversorger: Power Source Equipment (PSE)

⁵ Verbraucher: Powered Device (PD)

5.6 Vergleich der Systeme

PoE hat vom Einsatzgebiet und der verwendeten Technologie viele Gemeinsamkeiten mit FireWire (Tab. 5-1). Die klassischen IT-Unternehmen haben zur Zeit FireWire aber nur zögerlich aufgenommen.

Die Spannungsversorgung beim USB ist mit 5 Volt DC am nächsten beim effektiven Bedarf der elektronischen Schaltungen und bei der Powerline am weitesten davon entfernt. PoE und FireWire liegen mit 48 Volt dazwischen. Die USB-Technologie ist daher für sehr kleine elektrische Leistungen der Verbraucher und sehr kurze Übertragungsdistanzen ausgelegt.

System	Haupteinsatzgebiet	phys. Träger	max. Übertrag.-rate [Mbit/s]	max. Distanz [m]	Stromversorger	Energieübertragung
PoE	VoIP ⁶ , WLAN	Ethernet: 8 Adern	100 (1'000)	100	Switch, Midspan Injektoren	44-57 VDC, max. 15.4 W
USB	Kommunikation zwischen Host (PC) und Peripheriegeräte	USB-Kabel: 4 Adern	480	5	PC	5 VDC, max. 2.5 W
FireWire	Videodaten	FireWire-Kabel: 6 Adern	400 (3'200)	4.5	PC	8-48 VDC, max. 60 W
Powerline	Kommunikation, wo kein Datennetz	Stromnetz: 2 Adern	14	30	Stromnetz	230 VAC

Tab. 5-1 Vergleich der verschiedenen Systemen

⁶ Voice over IP: Übertragung von Sprache über das Ethernet

6 Markt

PoE ist vor allem wegen der Sprachübertragung über Ethernet (IP telephony) und dem WLAN (Wireless networking 802.11) eingeführt worden. Einer der wichtigsten Initiatoren war der Netzwerkkomponentenhersteller *Cisco Systems, Inc.* Einer der Hauptgründe für PoE für *Cisco* ist, dass die Stromversorgung mit PoE für Telefonendgeräte ausfallsicher ausgeführt werden kann (Cisco, 2004). Bei einem Ausfall der Stromversorgung in einem Gebäude soll aus Sicherheitsgründen mindestens das Telefon noch funktionieren.

Auf dem Markt sind Switches mit PoE-Funktionalität mit einer Kapazität bis zu 100 Ports erhältlich. Der Hersteller *Cisco* bietet PoE ausserhalb der IEEE-Spezifikation auch bereits in Kombination mit Gigabit-Ethernet an (Cisco, Cisco PoE Product Snapshot, 2004).

Für die Entwicklung von Geräten sind für die wichtigsten Funktionen integrierte Chips erhältlich (Bild 6-1).

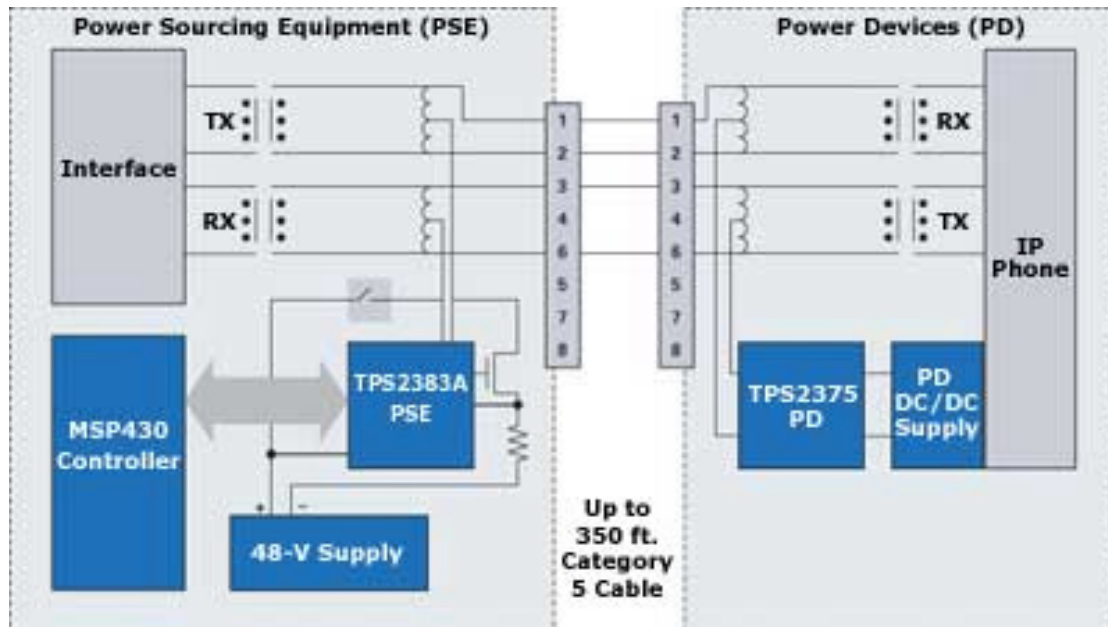


Bild 6-1 Beispiel von integrierten Bausteinen (Quelle Texas Instruments - <http://focus.ti.com>)

Eine Marktstudie ist in den USA erarbeitet worden. Diese ist nicht öffentlich zugänglich, kann aber käuflich erworben werden (Power Over Ethernet: A Global Market Demand Analysis, 2004).

7 Energieaspekte

7.1 Verbraucher

Die heutige integrierte Schaltungstechnologie benötigt nur noch kleine Speisespannungen. Viele Prozessoren arbeiten heute mit einer Spannung von unter 1.5 Volt. Weil mit kleineren Spannungen auch höhere Ströme verbunden sind, werden diese kleinen Endversorgungsspannungen meist erst unmittelbar vor Ort erzeugt. Das heisst, dass am Geräte- oder Baugruppeneingang eine Zwischenspannung von 5 – 48 V angelegt wird, welche dann in der Schaltung mit DC/DC-Wandler weiter nach unten transformiert wird.

Viele der durch PoE angepeilten Geräte haben keinen Ein-/Ausschalter. Viele konsumieren die meiste Zeit des Betriebs nur wenige Watt. Ein typisches Beispiel sind Telefon-Endgeräte. Diese sind immer in Betrieb und konsumieren meist eine Leistung von weniger als 5 Watt. Die folgenden Überlegungen sind daher speziell auf die Aspekte des Leerlaufs oder des Konsums von sehr kleinen Leistungen ausgelegt.

7.2 Zentrale Stromversorgung für PoE

Eine PoE-Stromversorgungseinheit (Bild 7-1) besteht typischerweise aus den folgenden Systemblöcken (Bild 7-2):

- AC/DC-Wandler (Netzteil)
- Controller (Steuer- und Überwachungseinheit)
- Mehrere Output Driver Module (Auskopplung pro Ethernet-Port: Schalter, Stromüberwachung, programmierbare begrenzte Stromquelle, Überlast- und Ausschaltüberwachung):

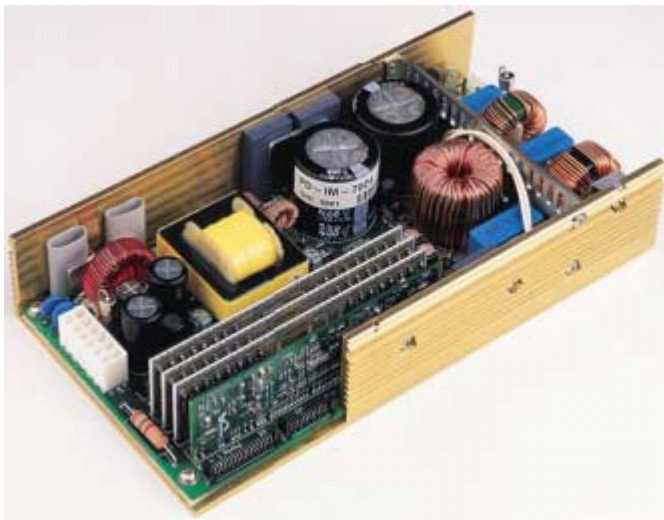


Bild 7-1 Stromversorgungsmodul für PoE in einem Daten-Switch (Quelle: PowerDsine, 2002)

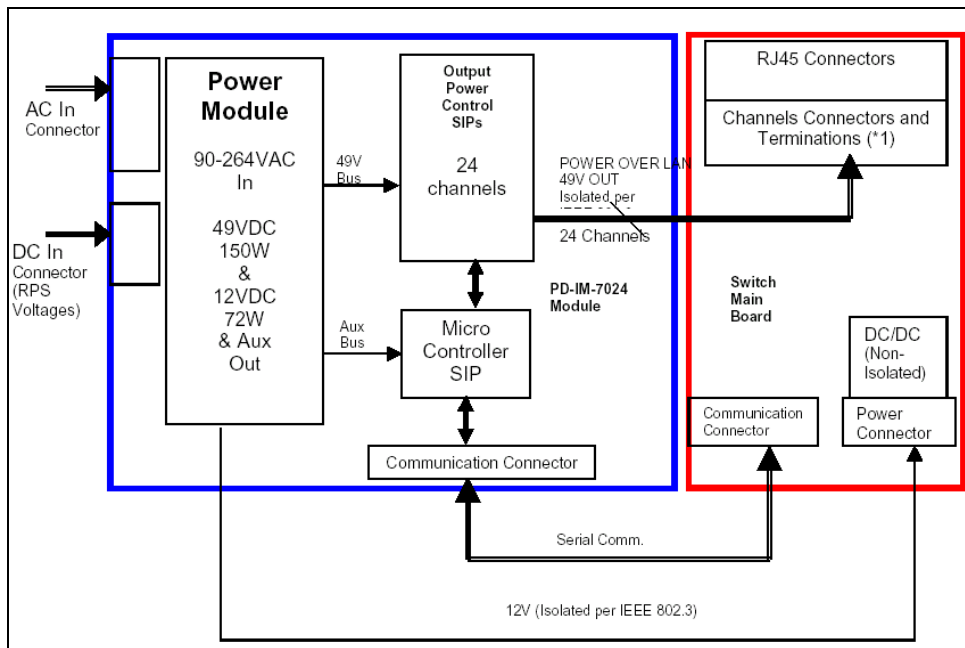


Bild 7-2 Blockschema eines Stromversorgungsmoduls für PoE in einem Daten-Switch (Quelle: PowerDsine, 2002)

Das Netzteil wird typischerweise auf 50 Prozent der maximal möglichen Leistung aller Ethernet-Ports ausgelegt, damit der Wirkungsgrad hoch ist und die Wärmeabfuhr nicht zum Problem wird. Die begrenzten Ressourcen beim zentralen Switch (Platz, Wärmetransport, elektrische Leistungszufuhr in grösseren Rechenzentren) zwingt die Hersteller somit, ein *Power-Management* durchzuführen. Ein *Power-Management* verwaltet die zur Verfügung stehende Speisekapazität und gewährleistet, dass trotz der reduzierten Leistung die Funktionalität der angeschlossenen Endgeräte gegeben ist. Das Power-Management verwendet dazu die folgenden Eingriffsmöglichkeiten:

- Festlegung Prioritäten der einzelnen Ports
- dynamische Zuordnung der elektrischen Leistung gemäss Anforderungen der Endgeräte
- Begrenzung der elektrischen Leistung pro einzelnen Port

Im Beispiel gemäss Bild 7-2 gibt das Datenblatt bei Vollast einen Wirkungsgrad von 80 bis 85 Prozent an. Der Wirkungsgrad sinkt bei kleinen Belastungen unter 10 Prozent rasch ab (Bild 7-3). Falls das Netzteil auf 50 Prozent der maximal möglichen Leistung aller Ethernet-Ports ausgelegt ist, sollten für einen annehmbaren Wirkungsgrad eine Belastung von mindestens 5 Prozent der maximal zulässigen PoE-Leistung vorhanden sein. Falls alle Ports belegt sind, ergibt dies eine Leistung von 0.75 W pro Port (5 Prozent von 15 W). Falls beispielsweise in einer Telefonanlage die Endverbraucher 4 W benötigen sollten etwa 20 Prozent der Ports benutzt sein, damit die Belastung des Netzteils mindestens 10 Prozent der Nennleistung beträgt. Falls das Netzteil gleichzeitig andere zentrale Kommunikationsgeräte versorgt, vermindert sich das Problem der kleinen Auslastungen. Dazu ein Beispiel:

Netzteil eines PoE-Switch mit 24 Ports und einem Netzteil mit einer elektrischen Nennleistung von 150 W (49 V DC) für PoE und 72 W (12 V DC) für den Switch (Bild 7-2). Unter der Annahme, dass der Switch selber eine elektrische Leistung von 20 W bezieht, ist das Netzteil bereits mit 10 Prozent ausgelastet.

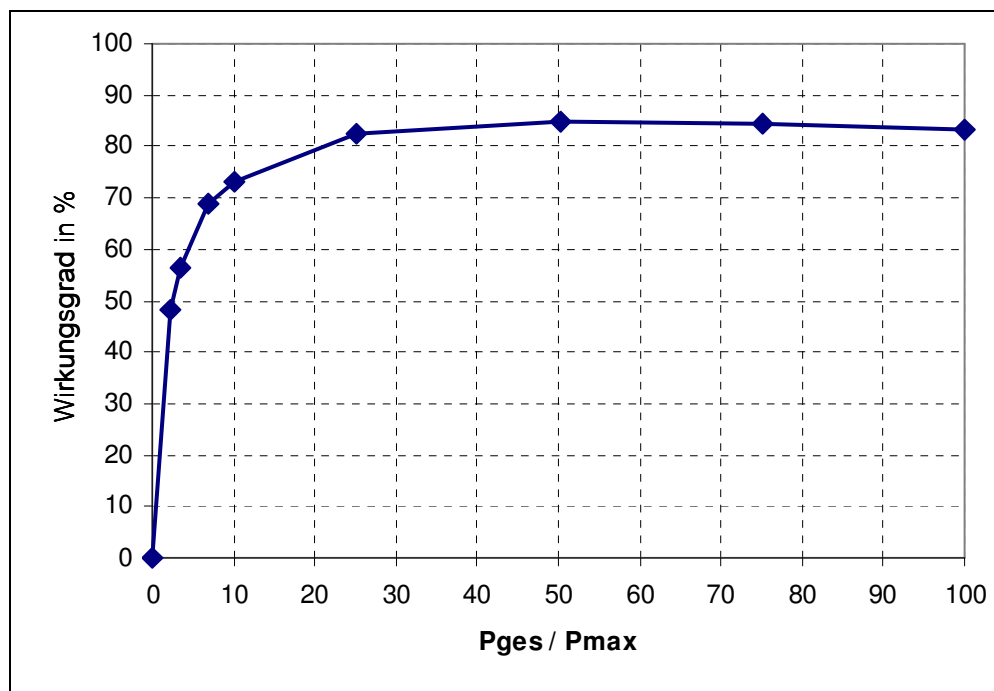


Bild 7-3 Wirkungsgradverlauf in Abhängigkeit der Belastung eines typischen Netzteils (Quelle: Aebischer Bernard, Huser Alois, 2002: Messung des Geräts Cisco 34-0873-0, Ascom Galaxy)

7.3 Vergleich PoE mit lokalen Netzteilen

Es soll die Frage beantwortet werden, ob die Stromversorgung mit PoE oder der Einsatz von dezentralen Netzteilen auf der Stufe der Endgeräte energieeffizienter ist. Dazu werden drei Fälle mit unterschiedlichem Leistungsbedarf durchgerechnet: 1 W, 5 W und 10 W. Als Systemgrenzen (Bild 7-4) gelten der Stromeingang auf der Stufe 230 VAC und der Stromausgang auf DC-Spannungsniveau der elektronischen Verbraucher (meist 1.5 bis 5 V).

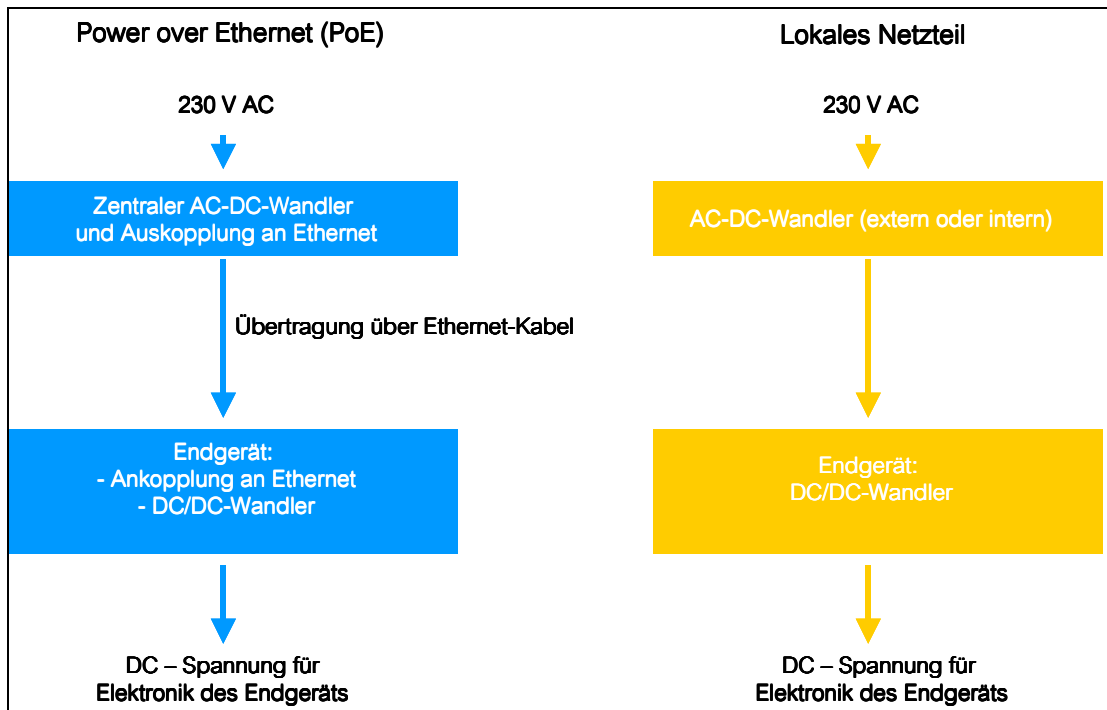


Bild 7-4 Systemaufbau der Stromversorgung bei PoE und bei lokalen Netzteilen

7.3.1 Leerlauf

Viele Endgeräte werden die meiste Zeit im Leerlauf betrieben. Daher ist dieser Betriebszustand besonders zu beachten. Heutige geschaltete Netzteile mit einer Ausgangsleistung von wenigen Watt haben eine Leerlaufleistung von unter 1 W. Eigene Messungen an zwei entsprechenden Netzteilen bestätigen dies:

- Egston Mainy mit einer Ausgangsleistung von 6 W (6 Volt DC, 1 A):
Leerlaufleistung: 0.6 W, 1.85 VA
- Zip-Drive AP05F-UV mit einer Ausgangsleistung von 5 W (5 Volt DC, 1 A):
Leerlaufleistung: 0.9 W, 2.77 VA

Die Übereinkunft zwischen Herstellern und der EU (European Commission (2004): Code of Conduct on Energy Efficiency of External Power Supplies) sieht für externe Netzteile mit einer Ausgangsleistung kleiner als 15 W eine maximal erlaubte Leerlaufleistung von 0.3 W vor.

Bei einer Stromversorgung über *PoE* sind im Leerlauffall die Ankopplung des Endgerätes an das Ethernet und der DC/DC-Spannungswandler zu versorgen (Bild 7-5). Wir schätzen, dass die Leerlaufleistung dieser Komponenten sehr klein ist und unter 0.3 Watt liegt.

7.3.2 Betriebszustand

Für den Betriebszustand sind in der Übereinkunft zwischen Herstellern und der EU (European Commission, 2004) die folgenden minimalen Wirkungsgrade für externe Netzteile stipuliert:

- $0 \leq W < 1.5$ 30 %
- $1.5 \leq W < 2.5$ 40 %
- $2.5 \leq W < 4.5$ 50 %
- $4.5 \leq W < 6.0$ 60 %

Effiziente Stromversorgung mittels Power over Ethernet (PoE)

- $6.0 \leq W < 10.0$ 70 %
- $10.0 \leq W < 25.0$ 75 %
- $25.0 \leq W < 150.0$ 80 %

In einer zweiten Phase (ab 1.1.2007) werden die folgenden Wirkungsgrade gefordert:

- $0 < W \leq 1$ $\geq 0.5 \cdot \text{Nominalleistung (P}_{no})$
- $1 < W \leq 51$ $\geq (0.09 \cdot \text{natürlicher Logarithmus von P}_{no}) + 0.5$
- $51 < W \leq 150$ ≥ 0.85

Diese Werte entsprechen auch etwa den Grenzwerten, wie sie bei *Energy Star* entwickelt werden (Energy Star, 2004).

Für die Versorgung eines Schaltkreises über eine externes Netzteil 230 V AC / Niederspannung DC und anschliessendem DC/DC-Wandler ergeben sich folgende Gesamt-Wirkungsgrade:

Berechnung:

$$\text{Gesamtwirkungsgrad [\%]} = 100 \cdot \text{Wirkungsgrad DC/DC-Wandler im Endgerät} \cdot \text{Wirkungsgrad AC/DC-Wandler im Netzteil}$$

Ausgangsleistung [W]	Wirkungsgrad in % externes Netzteil gemäss Code of Conduct	Wirkungsgrad DC/DC-Wandler in %	Gesamtwirkungsgrad in % ⁷
1	30	85	25.5
5	60	85	51.1
10	75	85	63.7
15	75	85	63.7

Tab. 7-1 *Wirkungsgrad bei einer Stromversorgung mit externem Netzteil*

Die gleiche Rechnung kann nun für die Versorgung eines Schaltkreises bei der PoE-Lösung durchgeführt werden:

Von der Stromversorgungseinheit bis zur Verbraucherschaltung gibt es bei *PoE* einige verlustbehaftete Zwischenstufen (Bild 7-5).

⁷ Die Kabelverluste über das längere 230 Volt – Versorgungsnetz werden vernachlässigt.

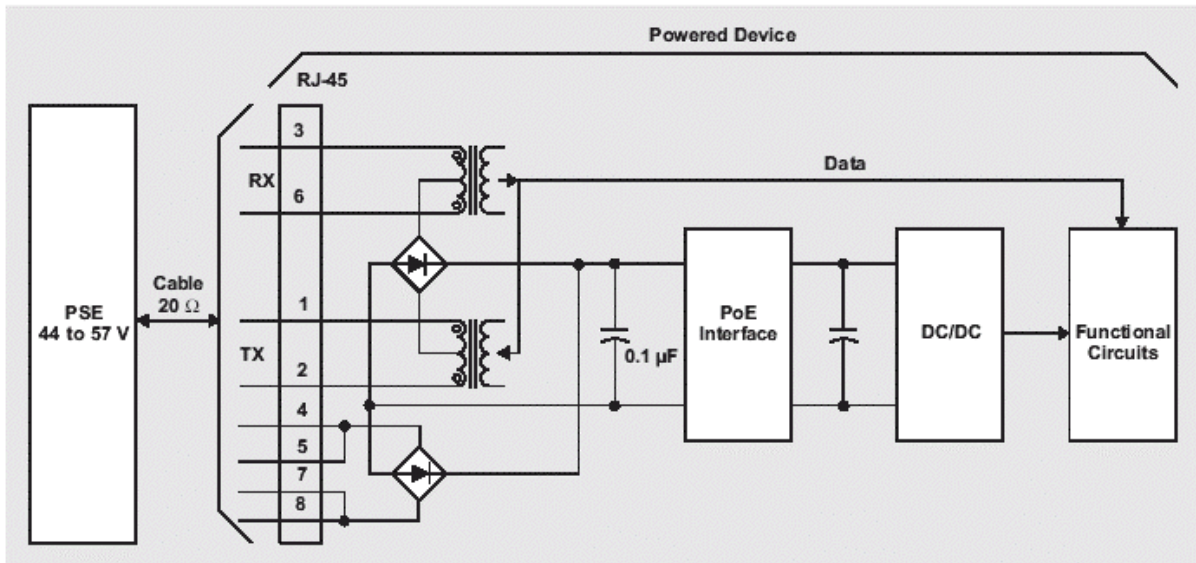


Bild 7-5 Blockschema der Stromversorgung einer Schaltung mit PoE (Quelle: Patoka Martin, 2003)

Bei der Übertragung der maximalen Leistung von 15.4 W ergeben sich folgende Verluste (Angaben aus Patoka Martin, 2003) :

- Verteilkabel 2.45 W (worst case bei 100 m Kabellänge)
- Eingangsdiode am Gerät 0.56 W
- Transformator für Datenauskopplung 0.06 W
- Controller 0.16 W
- DC/DC-Wandler (Wirkungsgrad 0.85) 1.83 W
- Total 5.06 W

Für die Versorgung eines Schaltkreises über PoE und anschliessendem DC/DC-Wandler ergeben sich folgende Gesamt-Wirkungsgrade:

Berechnung:

$$\text{Gesamtwirkungsgrad [\%]} = 100 \cdot \text{Ausgangsleistung [W]} / \text{Eingangsleistung [W]}$$

wobei:

$$\text{Eingangsleistung [W]} = (\text{Ausgangsleistung [W]} / \text{Wirkungsgrad DC/DC-Wandler im Endgerät} + \text{Übertragungsverluste [W]}) / \text{Wirkungsgrad AC/DC-Wandler im Stromversorgungsgerät}$$

wobei:

$$\text{Übertragungsverluste [W]:} \quad \text{Verteilkabel } (I^2 \cdot R) + \text{Eingangsdiode } (I \cdot 1,4V) + \text{Transformator Datenauskopplung } (I^2 \cdot R) + \text{Controller } (0.16 \text{ W})$$

wobei:

$$\text{Widerstand Kabel 100 m: } 24 \text{ } \Omega; \text{ Transformator: } 0.6 \text{ } \Omega$$

Wir nehmen in dieser Berechnung an, dass der Wirkungsgrad der Wandler über verschiedene Ausgangsleistungen in etwa konstant ist, das heisst, dass die Auslastung des zentralen Stromversorgungsgerätes in allen Fällen im Bereich von etwa 20 bis 100 Prozent liegt.

Ausgangsleistung [W]	Strom in Ethernet [mA]	Wirkungsgrad AC / DC – Wandler in % ⁸	Übertragungsverluste in W	Wirkungsgrad DC/DC-Wandler in %	Gesamtwirkungsgrad in %
1	24.5	80	0.21 (100 m Kabellänge)	85	57.5
5	122.5	80	0.73 (100 m Kabellänge)	85	60.5
10	245	80	2.00 (100 m Kabellänge)	85	58.0
15	320	80	3.20 (100 m Kabellänge)	85	57.6
15	320	80	1.66 (20 m Kabellänge)	85	62.2

Tab. 7-2 Wirkungsgrad bei einer Stromversorgung über PoE

Fazit: Diese Berechnungen zeigen, dass die PoE bei kleinen Leistungen die energetisch günstigere Lösung darstellt (Bild 7-6). Je kürzer dabei die Übertragungslänge ist, desto effizienter ist die PoE-Lösung, denn die Kabelverluste dominieren. Ab etwa 8 W (bei langen Übertragungswegen ab etwa 9 W) ist die Energieeffizienz mit dezentralen Netzteilen leicht höher, falls hocheffiziente Schaltnetzteile gemäss Code of Conduct der EU eingesetzt werden. Die Unterschiede sind bei höheren Leistungen (ab 8 W) aber nicht mehr gross. Der Einfluss der schaltungstechnischen Umsetzung der einzelnen Variante ist wahrscheinlich bedeutender als die Systemwahl.

⁸ Der Wirkungsgrad wird hoch angenommen, da viele Ports gleichzeitig versorgt werden. Voraussetzung ist, dass die zentrale Stromversorgung im Verhältnis zur aktuellen Last nicht überdimensioniert ist.

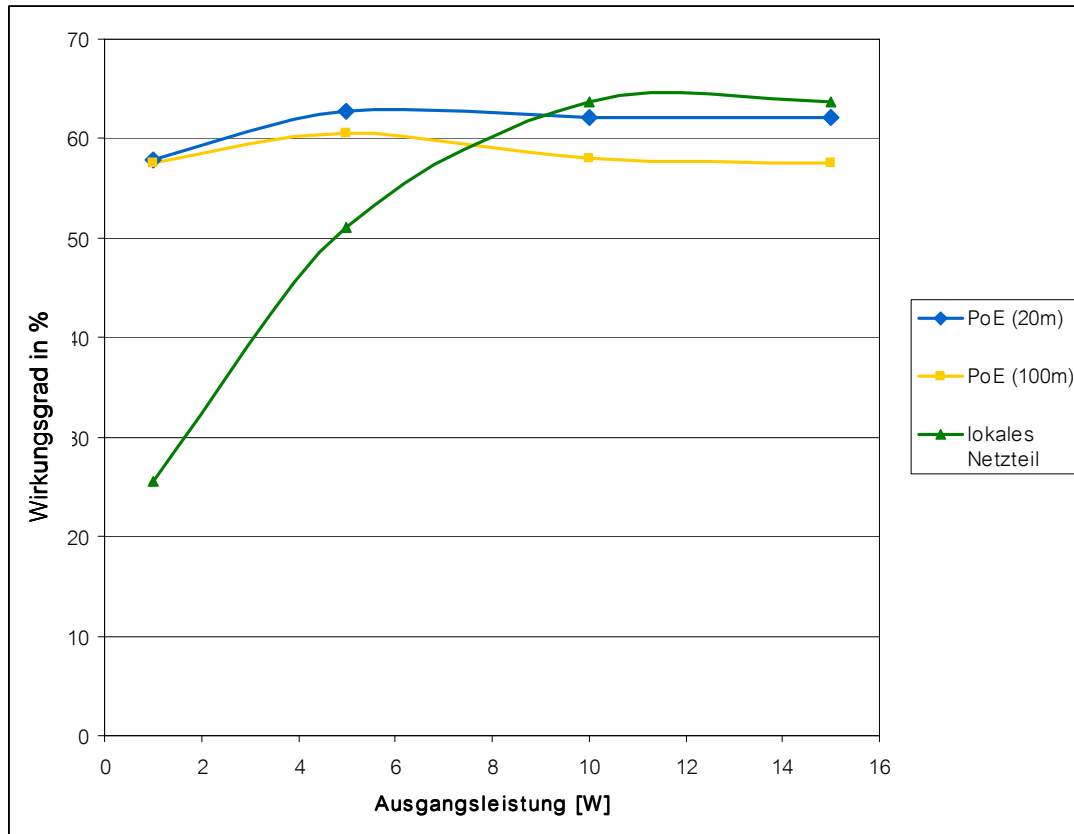


Bild 7-6 Vergleich der Wirkungsgradverläufe der Stromversorgung von PoE und lokalen Netzteilen

7.4 Mögliche Zukunft von PoE

In Fachkreisen wird diskutiert, wie der IEEE802.4af-Standard erweitert werden könnte, damit eine grössere elektrische Leistung übertragbar ist (www.poweroverethernet.com). Damit könnten beispielsweise auch Laptop-Computers via PoE versorgt werden. Es stellen sich aber noch ungelöste Fragen wie: Wie erwärmen sich Kabelstränge durch die Erhöhung der Stromstärke und welche Auswirkungen hat dies auf die Sicherheit und Lebensdauer der Kabel?

Aus der Sicht der Energieeffizienz stellt diese höhere Übertragungsleistung einen Rückschritt dar. Die Verluste über die dünnen Kabeladern werden grösser und beeinflussen den Gesamtwirkungsgrad negativ.

8 Empfehlungen aus der Perspektive der Energieeffizienz

8.1 Hersteller von Geräten

Aus der Sicht der Energieeffizienz ist nicht nur entscheidend, ob die Stromversorgung zentral mit *PoE* oder dezentral mit externen Netzteilen erfolgt. Einen grossen Einfluss hat auch die Technologiewahl und die Implementation eines auf hohe Energieeffizienz getrimmten Schaltungsentwurfs. Die folgenden Grundsätze verbessern die Energieeffizienz:

- Auch für kleine Leistungen sollten Schaltnetzteile verwendet werden an Stelle von konventionellen Transformatoren (Aebischer Bernard, Huser Alois, 2002).
- Einsatz von möglichst wenigen Spannungszwischenstufen: Eine Endspannung von 3.3 V sollte direkt aus der Spannungsversorgung von 48 Volt hergestellt werden und nicht zuerst auf 12 Volt transferiert und anschliessend nochmals auf 3.3 V gewandelt werden (Patoka Martin, 2003).
- Das zentrale Stromversorgungsgerät sollte nicht überdimensioniert werden. Durch die Detektion der Leistungsklassen von angeschlossenen Geräten kann die elektrische Leistung optimal verteilt werden und der Gesamtleistungsbedarf muss nicht unbedingt auf die Summe der maximalen Leistungen aller Ports ausgelegt werden.
- Die Software zur Überwachung und Steuerung der zentralen Stromversorgung sollte mit der Möglichkeit ausgestattet sein, jeden Port individuell zu frei programmierten Zeiten auszuschalten. Damit können Endgeräte ausgeschaltet werden, wenn sie beispielsweise in der Büroumgebung in der Nacht oder am Wochenende nicht benützt werden. Dies spart einerseits Energie und Kosten und reduziert andererseits die Wärmebelastung der Kabel und vermindert so das Brandrisiko.

8.2 Anwender

Aus der Sicht der Energieeffizienz stellt *PoE* bei kleinen Leistungen, d.h. unter 8 bis 9 Watt pro Endgerät, eine gute Lösung dar. Es ist beim Kauf darauf zu achten, dass das zentrale Stromversorgungsgerät optimal dimensioniert ist und einen guten Wirkungsgrad aufweist. Die Belastung des Stromversorgungsgerätes sollte grösser als 10 Prozent der Nennleistung betragen. Bei einer üblichen Auslegung der Leistung heisst das, dass typischerweise mehr als 20 Prozent der Ports belegt sein müssen.

Generell sollten bei Endgeräten nur Schaltnetzteile beschafft werden. Alle Hersteller, welche den *EU Code of Conduct* unterschrieben haben, produzieren energieeffiziente Geräte (Liste einsehbar unter http://energyefficiency.jrc.cec.eu.int/html/s_b-ParticipantsCoC.htm).

8.3 Ausbildung

Die Erkenntnisse der Studie sollten in die Ausbildung der Informatik-Lehrlinge (Fachrichtung Systemtechnik) einfliessen. Dazu könnte ein Merkblatt erarbeitet werden, welche die Erkenntnisse dieser Studie allgemeinverständlich zusammenfasst.

8.4 Forschung

Die Resultate dieser Studie sollten durch die Forscher und Entwickler weiter diskutiert und Erfahrungen ausgetauscht werden. Die theoretisch gewonnenen Erkenntnisse der Studie müssen in der Praxis durch Messungen erhärtet werden.

Literaturverzeichnis

- 1394 Trade Association Office: 1560 East Southlake Blvd., Suite 242, Southlake, TX 76092, USA
<http://www.1394ta.org/>
- Aebischer Bernard, Huser Alois (2002): Energieeffizienz von Computer Netzgeräten, im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern, Centre for Energy Policy and Economics (cepe), Zürich, November 2002
- Benjamin Benz (2004): *Spannung im Netz – Stromversorgung mittels Power over Ethernet* in c't, Heft 10
- Cisco (2004): Drivers and Applications for the Power over Ethernet Solution, Cisco Systems, Incorporated, USA,, 2004
- Cisco PoE Product Snapshot (2004): Cisco PoE Product Snapshot, Cisco Systems, Incorporated, USA,, 2004
- Energy Star (2004): Power supplies,
http://www.energystar.gov/index.cfm?c=prod_development.power_supplies
- ETSI TS 101 867 V1.1.1 (2000-11) : Powerline Telecommunications (PLT); Coexistence of Access and In-House Powerline Systems (TS 101 867); The European Telecommunications Standards Institute (ETSI): Secretariat 650, route des Lucioles, 06921 Sophia-Antipolis Cedex, FRANCE, www.etsi.org
- ETSI TS 101 896 V1.1.1 (2001-02): Powerline Telecommunications (PLT);Reference Network Architecture Model PLT phase 1, The European Telecommunications Standards Institute (ETSI): Secretariat 650, route des Lucioles, 06921 Sophia-Antipolis Cedex, FRANCE, www.etsi.org
- European Commission (2004): Code of Conduct on Energy Efficiency of External Power Supplies, Draft Version 2, Ispra, 30. April 2004,
http://energyefficiency.jrc.cec.eu.int/html/standby_initiative.htm
- IEEE 1394a (2000): <http://standards.ieee.org>
- IEEE 1394b (2002): <http://standards.ieee.org>
- IEEE Standards 802.3 af: Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications; Amendment: Data Terminal Equipment (DTE) Power via Media Dependent Interface (MDI), IEEE Standards Association, 445 Hoes Lane, P.O. Box, 1331, Piscataway, NJ 08855-1331, USA.,
<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3af-2003.pdf>
- Patoka Martin (2003): Estimating available application power for Power-over-Ethernet applications, Texas Instruments Incorporated, USA
- PowerDsine (2002): Power over LAN™ Module PD-IM-7024, PowerDsine Ltd., Israel,
www.powerdsine.com, 2002
- PowerDsine (2004): Installing an IP Telephony Network Using Power over LAN, PowerDsine Ltd., Israel, www.powerdsine.com, 2004
- Power Over Ethernet: A Global Market Demand Analysis (2004): VENTURE DEVELOPMENT CORPORATION, One Apple Hill Drive, Suite 206, Box 8190, Natick, MA 01760 USA
- SSV EMBEDDED SYSTEMS (2004): Heisterbergallee 72, D-30453 Hannover
- USB Implementers Forum, Inc. (2004): Universal Serial Bus Revision 2.0 specification,
http://www.usb.org/developers/docs/usb_20.zip