

Zwischenbericht für das Projekt



Arbeitspaket

AP 1.3 – Energie-Management: Netzkomponenten

Antragsteller:	Universität Paderborn
Teilprojekt:	AP 1.3 Energie-Management: Netzkomponenten
Ansprechpartner:	Prof. Dr. Gudrun Oevel
Version:	1.0
Datum:	04.12.2012
Autoren:	Prof. Dr. Gudrun Oevel, Sebastian Porombka,

Inhalt

I.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	3
II.	TABELLENVERZEICHNIS	3
III.	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	3
1	BESCHREIBUNG DES VORGEHENS	5
2	DATENLEITUNGEN (PASSIVE KOMPONENTEN)	6
3	NETZWERKKOMPONENTEN (AKTIV) IM DATACENTER	9
3.1	NEXUS 55XX.....	9
3.2	NEXUS 2XXX FABRIC EXTENDER	10
3.3	FAZIT UND OPTIMIERUNGSEMPFEHLUNGEN	12
4	NETZWERKKOMPONENTEN AUF DEM CAMPUS	13
4.1	CATALYST 4506-E	13
4.2	CATALYST C3560G-48TS-S / C3560G-48PS-S.....	16
4.2.1	PRODUKTIONS- BZW. BETRIEBSSICHT	16
4.3	MÖGLICHE OPTIMIERUNGEN	18
4.3.1	SCALE-OUT VS. SCALE-UP (MODULARE VS. STACKABLE SWITCHE).....	18
4.3.2	10/100/1000 MBIT – PORTGESCHWINDIGKEIT JE NACH ANFORDERUNG	20
4.3.3	REDUNDANZ IM DATACENTER, ABER ZU WELCHEM PREIS	21
5	WLAN.....	22
6	FAZIT UND OFFENE PUNKTE	23
7	LITERATURVERZEICHNIS	25
8	ANHANG.....	1
8.1	MESSWERTE.....	1
8.1.1	CISCO FABRIC EXTENDER NEXUS 2248TP1GE, BELEGUNG [001]	1
8.1.2	CISCO FABRIC EXTENDER NEXUS 2248TP1GE, LAST [002]	1
8.1.3	CISCO CATALYST C3560G-48PS-S, BELEGUNG [003]	2
8.1.4	CISCO CATALYST C3560G-48PS-S, LAST [004].....	2
8.1.5	CISCO CATALYST C3560G-48TS-S, BELEGUNG [005]	3
8.1.6	CISCO CATALYST C3560G-48TS-S, LAST [006]	3
8.1.7	CISCO CATALYST C3560G-48TS-S, ENERGIEVERBRAUCH / PAKETGRÖÙE [007].....	4
8.1.8	CISCO NEXUS 5548P, BELEGUNG [008]	5
8.1.9	CISCO CATALYST C4506-E / SUP7L-E MIT 5x WS-X4648-RJ45V+E MODULEN, BELEGUNG [009].....	6

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grundsätzlicher Aufbau eines Datennetzes in einem Gebäude	6
Abbildung 2: Kostenvergleich Glasfaser vs. Kupfer mit Abschaltung	8
Abbildung 3: Kostenvergleich Glasfaser vs. Kupfer ohne Abschaltung.....	8
Abbildung 4: Energieverbrauch der Switche im Datacenter nach belegten Anschlüssen bei 10 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit.....	10
Abbildung 5: Energieverbrauch der Switche im Datacenter nach belegten Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit.....	11
Abbildung 6: Ausgabe des Cisco Power Calculators.....	14
Abbildung 7: Selbstauskunft des Catalyst 4506.....	14
Abbildung 8: Energieverbrauch eines Catalyst 4506 nach belegten Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit.....	15
Abbildung 9: Verwendung der Anschlüsse am Arbeitstag	17
Abbildung 10: Verwendung der Anschlüsse in der Nacht	17
Abbildung 11: Versorgung von 240 Anschlüssen im Vergleich.....	18
Abbildung 12: Energiekosten pro Port bei unterschiedlichen Verbindungsgeschwindigkeiten	21

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energieverbrauch nach Last – Nexus 2248TP1GE / C3560-48PS-S * C3560-48TS-S.....	12
Tabelle 2: Energieverbrauch nach Last – Catalyst 4506.....	15
Tabelle 3: Leistungsaufnahme - Aktueller Aufbau des Netzwerkes im Bauteil O und Alternative.....	19
Tabelle 4: Beschaffung - Aktueller Aufbau des Netzwerkes im Bauteil O und Alternative.....	20
Tabelle 5: Energieverbrauch Cisco Fabric Extender Nexus 2248TP1GE nach belegten Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit, im Leerlauf	1
Tabelle 6: Energieverbrauch Cisco Fabric Extender Nexus 2248TP1GE nach Netzwerklast auf allen Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit.....	1
Tabelle 7: Energieverbrauch Cisco C3560G-48-PS-S nach belegten Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit, im Leerlauf	2
Tabelle 8: Energieverbrauch Cisco C3560G-48-PS-S nach Netzwerklast auf allen Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit.....	2
Tabelle 9: Energieverbrauch Cisco C3560G-48-TS-S nach belegten Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit, im Leerlauf	3
Tabelle 10: Energieverbrauch Cisco C3560G-48-TS-S nach Netzwerklast auf allen Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit.....	3

III. Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
IaaS	Infrastructure as a Service
PaaS	Platform as a Service
SaaS	Software as a Service

1 Beschreibung des Vorgehens

Ziel des GreenPAD Projektes ist der effiziente Umgang mit Energie im IKT Umfeld. Die Universität Paderborn beschäftigt sich in diesem Kontext u.a. mit dem Energieverbrauch der Netzwerk-Infrastruktur im Access-Bereich und im Rechenzentrum, Einsparmöglichkeiten durch VDI Installationen (Virtual Desktop Infrastructure) und effizienten Rechenzentrumsbau.

Im Mittelpunkt dieses Papiers stehen Messungen bezüglich des Energieverbrauches von Datenleitungen sowie der an der Universität Paderborn verbauten Cisco Netzwerkkomponenten.

Ziele der Untersuchungen sind

- Die IST-Analyse des derzeitigen Energie-Verbrauchs im Netzwerk
- die Modellierung des Energieverbrauches (a) zur Einbeziehung in eine Ende-zu-Ende-Kalkulation eines Gesamtenergieverbrauches der ITK sowie (b) zur Erweiterung des Datacenter Simulators CERES der Firma FTS
- Aufzeigen von Optimierungspotentialen im Energie-Verbrauch

Methodisch werden die Beschaffungsseite, d.h. die energetischen Merkmale der Komponenten sowie die Produktionsseite, d.h. der Betrieb der Komponenten untersucht.

Als Messgerät stand ein Zimmer LMG450 zur Verfügung. Das Netzwerk der Universität besteht fast ausschließlich aus Cisco-Komponenten. Das Netzwerk versorgt ~17.600 Studierende und 2.010 Mitarbeiter in knapp 200 Lehrstühlen.

Verbaut sind Komponenten der Catalyst-Reihe für die Netzversorgung in den Büros und der Nexus-Familie für das Rechenzentrum im Bauteil O. Im Access-Bereich der insgesamt 30 Gebäude besteht die Netzwerkausstattung aus ~230 Switches mit ~19.500 Ports, ~310 Accesspoints sowie Servern und Appliances, die für den Betrieb notwendig sind.

Es wurden nur Komponenten gemessen, die im Laboraufbau verfügbar waren. Der Core-Router ist daher nicht vermessen.

Cisco bietet selbst einen Power Calculator, die Geräte geben auch eine Selbstauskunft, allerdings sind dies immer Schätzungen und obere Schranken mit teilweise unbekanntem Fehler. Exemplarisch wird daher die Infrastruktur im Neubau O untersucht und mit den Angaben der Hersteller und der Selbstauskunft verglichen.

2 Datenleitungen (passive Komponenten)

In diesem Kapitel wird der Energieverbrauch einer Infrastruktur basierend auf Glasfasern im Vergleich mit Kupferkabeln untersucht. Methodisch dient das Gebäude J der Universität Paderborn als ein typisches Vergleichsobjekt.

Die Datenleitungen in einem Gebäude (im Sinne einer strukturierten Verkabelung) werden in drei Bereiche eingeteilt:

1. Primärverkabelung: Anbindung eines Gebäudeknotens an das Kernnetz eines Standortes (Core)
2. Sekundärverkabelung: Anbindung der Etagenknoten an einen Gebäudeknoten (Distribution)
3. Tertiärverkabelung: Anbindung der Anschlüsse in den Räumen an einen Etagenknoten (Access)

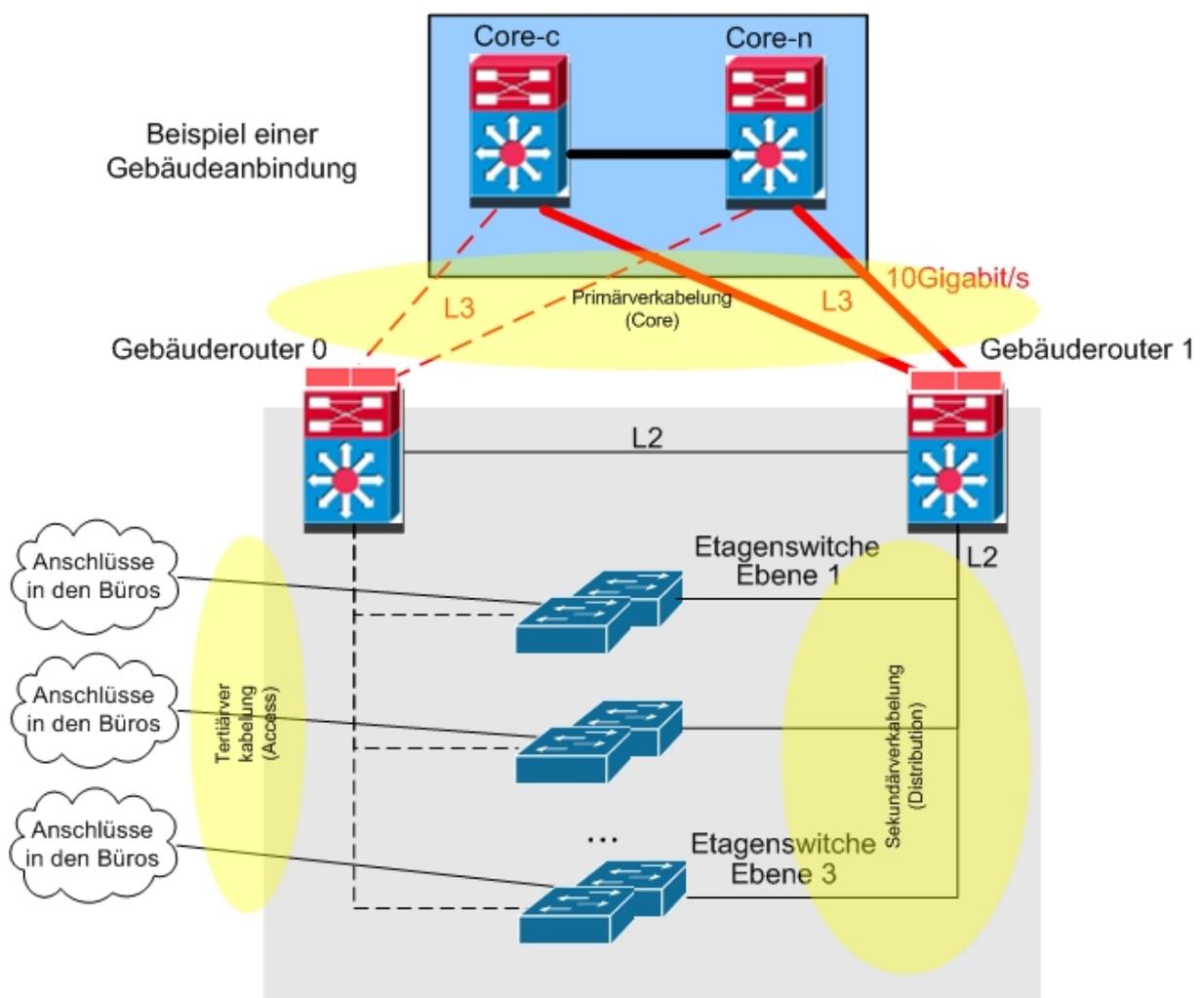


Abbildung 1: Grundsätzlicher Aufbau eines Datennetzes in einem Gebäude

Ein Beispielnetz wird schematisch in der Abbildung 1 dargestellt. Für die Realisierung der Verkabelung stehen für die einzelnen Bereiche im Wesentlichen zwei Arten von Medien zur Verfügung, Glasfaserkabel und Kupferkabel. Zur Versorgung der Endgeräte im Tertiärbereich existiert natürlich noch das Wireless-LAN, das in diesem Kapitel aber nicht berücksichtigt wird.

Die Primärverkabelung wird an der Universität Paderborn schon aufgrund der Entfernungen, die überbrückt werden müssen, mit Glasfaserkabeln realisiert. Das gleiche gilt für die Sekundärverkabelung. Die Tertiärverkabelung wird flächendeckend in Form von Kupferleitungen realisiert.

Der für unsere weiteren Untersuchungen interessante Bereich ist die Tertiärverkabelung. Hier könnte grundsätzlich sowohl Glasfaser- als auch Kupferkabel zum Einsatz kommen. Abhängig von der Art des installierten Kabels müssen dann an den Übergabepunkten unterschiedliche aktive Komponenten (Router, Etagenswitches) installiert werden. Diese Komponenten unterscheiden sich im Energieumsatz, in den Wartungs- und nicht zuletzt in den Investitionskosten. Für unsere Überlegungen reduziert sich die Betrachtung der verschiedenen Installationsmöglichkeiten also im Folgenden auf die Tertiärverkabelung. Hier muss eine grundsätzliche Entscheidung getroffen werden: Glasfaser oder Kupfer.

Eine Glasfaserverkabelung bis in die Büros hat aus bautechnischer Sicht Vorteile. Glasfasern unterliegen nicht der für Kupfer bekannten Längenbeschränkung von 90 Metern. Dadurch kann die Anzahl der Netzwerkverteilerräume in den Gebäuden reduziert werden. Die Kabeltrassen und Wanddurchbrüche können kleiner dimensioniert werden, weil die Durchmesser der Glasfaserkabel kleiner sind.

Aus Betriebssicht muss am Ende einer Glasfaser – also in jedem einzelnen Büro – ein aktiver Konverter (Büroswitch) installiert werden, weil die Endgeräte i. d. R. über keine Glasfaseranschlüsse verfügen. Dies würde im Fall des Gebäudes J ca. 250 zusätzliche aktive Komponenten bedeuten, die installiert, überwacht, energetisch versorgt und gewartet werden müssen. Das wäre etwa eine Verdoppelung der Zahl der derzeit vorhandenen aktiven Netzwerkkomponenten an der Hochschule. Über Glasfaserkabel ist außerdem keine Energieversorgung von Endgeräten möglich und damit auch nicht deren zentrale An- und Abschaltung über das Datennetz.

Unter rein energetischen Aspekten des operativen Betriebs betrachtet, ist eine Glasfaserverkabelung bis in den Tertiärbereich etwas günstiger als eine Kupferverkabelung (siehe Abbildung 3). Diese Tatsache spiegelt sich in dem flacheren Verlauf der Kurve der Gesamtkosten für die Glasfaserinfrastruktur im Gegensatz zu dem steileren Verlauf derjenigen für die Kupferinfrastruktur. Betrachtet man die Gesamtkosten (Investitions- und Betriebskosten) einer Glasfaser- gegenüber einer Kupferverkabelung ist die Kupferverkabelung günstiger. Die Installationskosten (Verkabelung und aktive Komponenten) sind für eine Glasfaserverkabelung erheblich höher als bei Kupfer. Die konkrete Berechnung für das Gebäude J ergab, dass sich die Mehrinvestition für die Glasfaserverkabelung erst nach 14 Jahren amortisiert. Die echte Gewinnzone (Gesamtkosten) erreicht man mit einer Glasfaserverkabelung im Vergleich zu einer Kupferverkabelung sogar erst nach 30 Jahren, wenn keine Switchports abgeschaltet werden. Schaltet man die Switchport bei Nichtgebrauch (hier konkret für 8 Stunden pro Tag) ab, verschiebt sich der Break-Even-Punkt einer Glasfaserverkabelung sogar noch weiter nach Hinten, auf 46 Jahre (siehe Abbildung 3). Bei den Betrachtungen ist eine Kostensteigerung für die Energie von 3% jährlich berücksichtigt.

Insbesondere aufgrund des zu erwartenden Aufwands für die zusätzlichen aktiven Komponenten in den Büros hat sich die Universität Paderborn dazu entschlossen, den bisherigen Standard, bei der Tertiärverkabelung auf Kupfer zu setzen, weiter aufrechterhalten. Allerdings soll dafür gesorgt werden, dass der Energieverbrauch insgesamt konsequent minimiert wird.

Dazu sollen insbesondere bei den aktiven Komponenten Ports abgeschaltet werden. Diese Möglichkeiten zur Energieoptimierung werden in den nächsten Kapiteln daher genauer untersucht. In dem Kontext der Abschaltung von Ports ist eine weitere Betrachtung interessant. Nutzt man die Möglichkeit der Kupferverkabelung und versorgt man die Endsysteme (Telefone, Accesspoints, PC-Thin-Clients, etc.) über das Netzwerk mit elektrischer Energie, besteht die Möglichkeit diese bei Nichtgebrauch zentral zeigesteuert und vielleicht im Zusammenspiel mit Gebäudeautomation abzuschalten. Macht man davon Gebrauch, gibt es weiteres Potenzial Energie einzusparen. Den Vergleich Kupfer- vs. Glasfaser-

infrastruktur hierzu zeigt Abbildung 2. Hier wird angenommen, dass 50% der Endsysteme für 8 Stunden abgeschaltet werden.

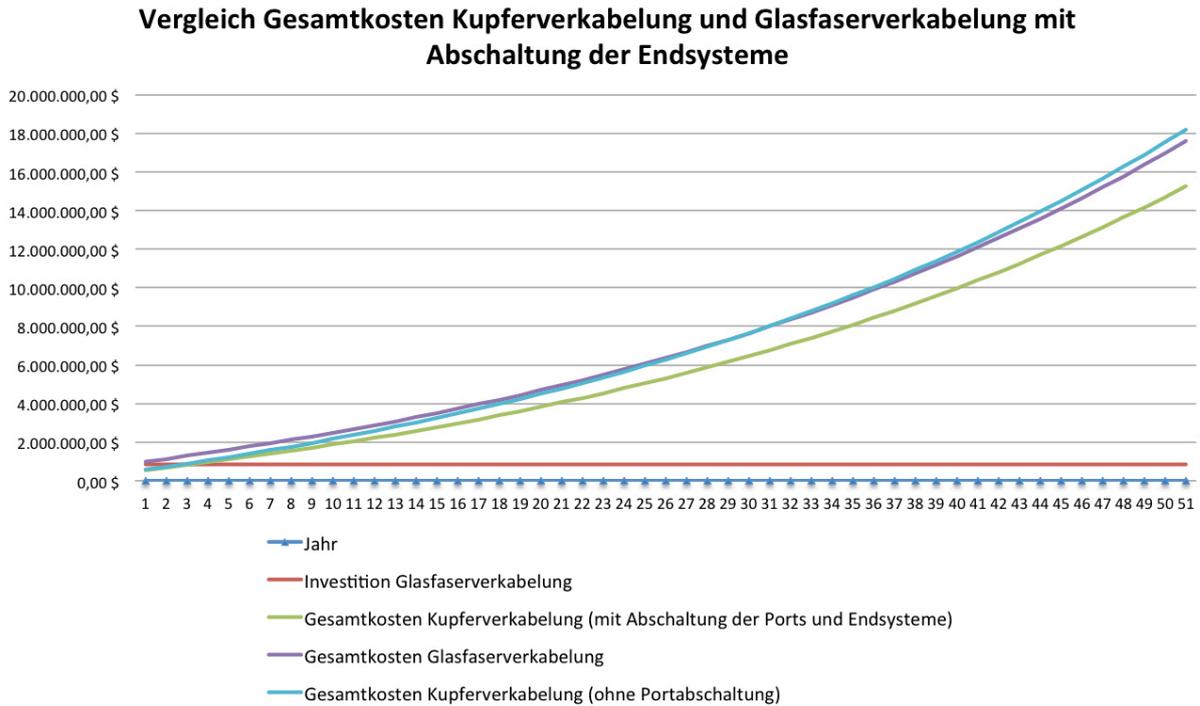


Abbildung 2: Kostenvergleich Glasfaser vs. Kupfer mit Abschaltung

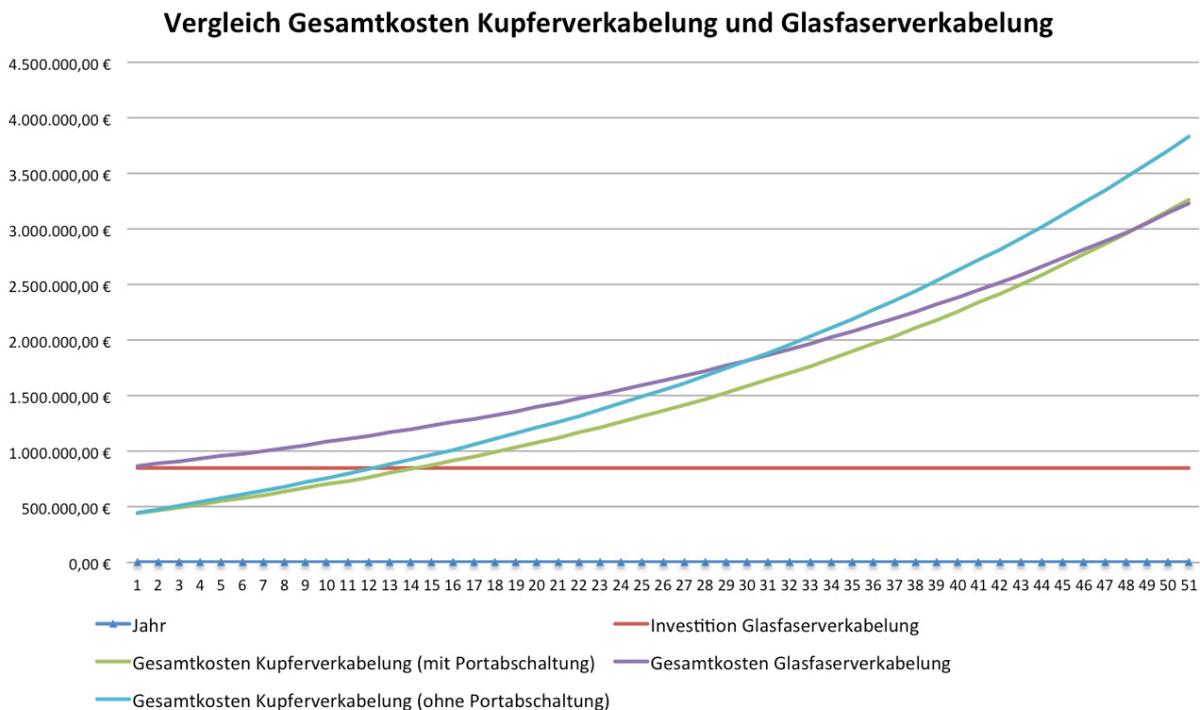
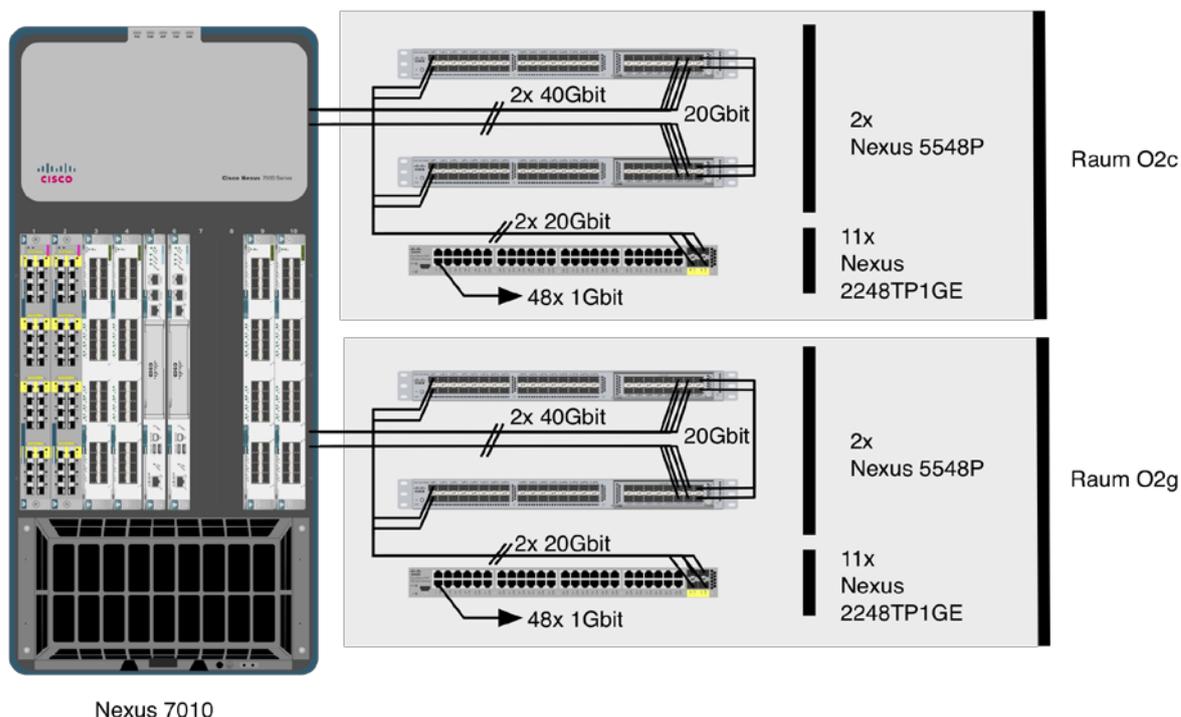


Abbildung 3: Kostenvergleich Glasfaser vs. Kupfer ohne Abschaltung

3 Netzwerkkomponenten (aktiv) im Datacenter

Das neue Rechenzentrum im Bauteil O besteht aus mehreren, durch Brandabschnitte geteilten, Räumen. Bezeichner der Räume sind vom Typ O2a, O2b, O2c bis O2g. In jedem Raum befindet sich eine autonome Cisco Nexus Infrastruktur, die auf einem zentralen Core-Router verbunden sind. Exemplarisch werden hier die Räume O2c und O2g näher untersucht.



Die Netzanbindung erfolgt durch einen Cisco Nexus 7010, an dem in jedem Brandabschnitt ein Nexus 55xx Pärchen angeschlossen ist. Auf diesen sind üblicherweise pro Schrank zwei Nexus 2xxx Fabric Extender (FEX) angeschlossen, die 1 Gbit Ports für die Server bereitstellen. Komponenten, wie z.B. Bladecenter, die 10 Gbit Anschlüsse erfordern, sind direkt auf Nexus 55xx angeschlossen. Das Konzept zieht sich durch alle Räume und skaliert mit der Anzahl der 55xx und 2xxx Komponenten. Der Nexus 7010 selbst steht abseits der Rackreihen für Server im Netzwerkverteiler für das gesamte Rechenzentrum. Hier laufen auch alle passiven Glasfaserleitungen auf.

3.1 Nexus 55xx

Vorhanden sind Nexus N5K-C5548P mit einer zusätzlichen 16X10GE Erweiterungskarte vom Typ N55-M16P. In dieser Konfiguration stehen 48 10GE Ports für Uplinks zum Core-Router, nötige Querverbindungen, Uplinks zu FEXen und zu Rechnern bereit. Den Energieverbrauch gibt Cisco lt. Datenblatt (Cisco Systems, Cisco Nexus 5548P, 5548UP, 5596UP, and 5596T Switches Data Sheet, 2012) mit durchschnittlich 390W an. Verschiedene Ausbaupvarianten erhöhen den Verbrauch auf 600W/730W.

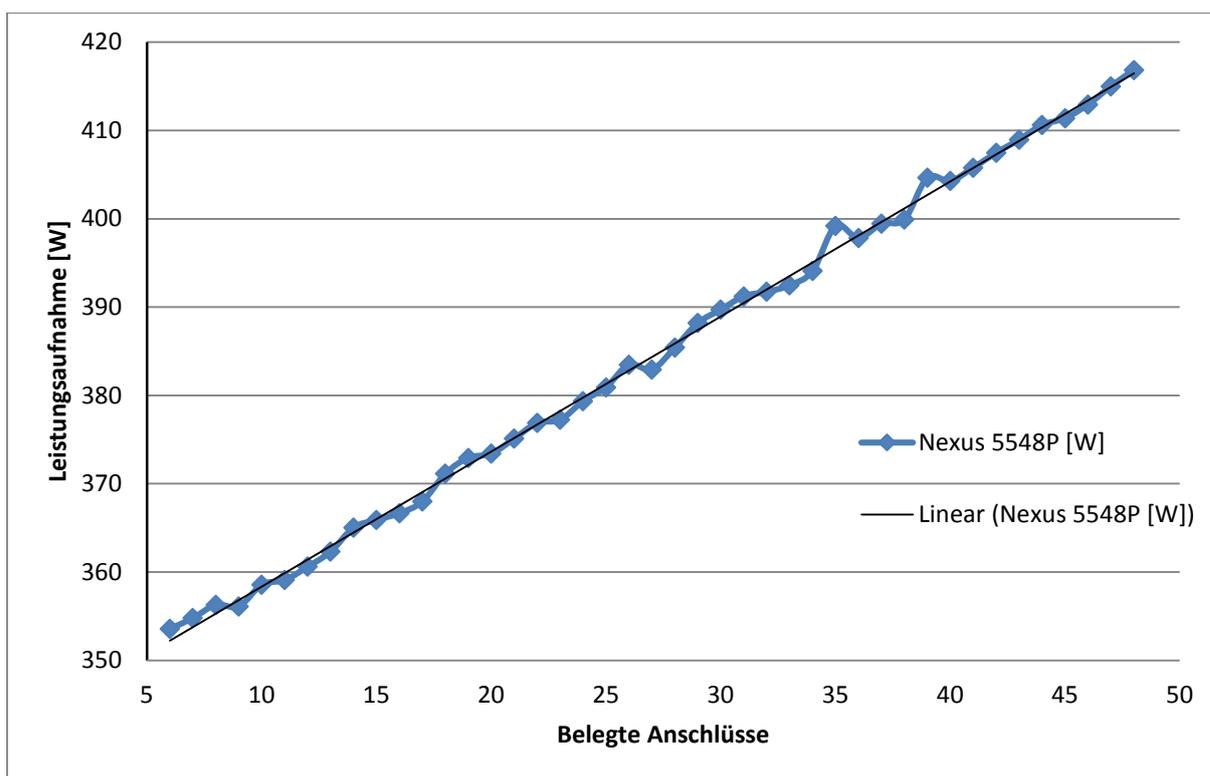


Abbildung 4: Energieverbrauch der Switche im Datacenter nach belegten Anschlüssen bei 10 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit

Die vorgenommene Vergleichsmessung (siehe Abbildung 4) ergibt eine Leistungsaufnahme zwischen ~ 354 W und ~ 416 W je nach Anzahl der verwendeten Anschlüsse. Unsere Messung beginnt bei sechs belegten SFP+ Einschüben und endet beim Vollausbau von 48. Je nach Belegung der Ports steigt die Leistungsaufnahme nach einem Anfangsverbrauch von 354W linear um 1,3W pro benutzen Anschluss.

3.2 Nexus 2xxx Fabric Extender

Die Versorgung mit 1GE Anschlüssen geschieht durch je zwei Nexus N2K-C2248TP-1GE pro Schrank. Diese sind jeweils mit 20GE auf die Nexus 55xx Switche verkabelt. Die Fabric Extender positioniert Cisco als „abgesetzte Linecards“ auf denen kein Switching stattfindet. Alle Datenpakete, die von einem zum anderen Anschluss transportiert werden sollen, fließen über den Uplink und damit über die übergeordneten Switches. Cisco veranschlagt, lt. Datenblatt (Cisco Systems, Cisco Nexus 2000 Series Fabric Extenders Data Sheet, 2012), zwischen 95W bis 110W für den Betrieb eines Gerätes.

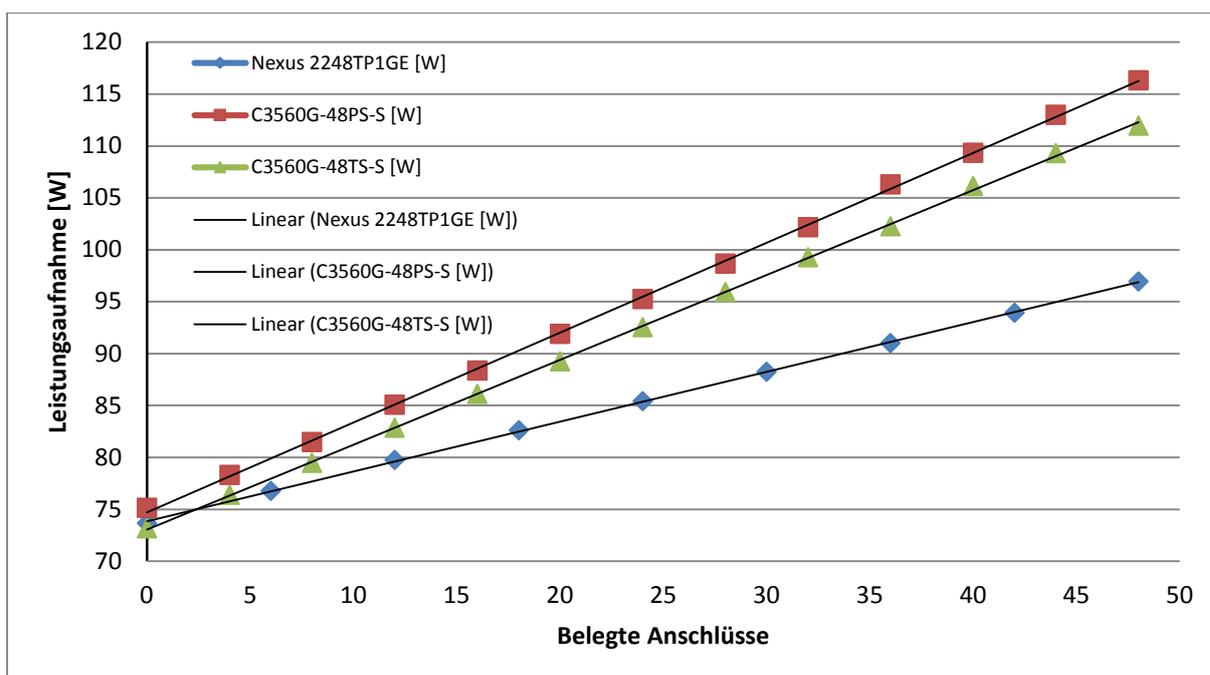


Abbildung 5: Energieverbrauch der Switche im Datacenter nach belegten Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit

Die vorgenommene Vergleichsmessung zeigt zwischen 74W und 97W je nach Anzahl der verwendeten Ports (ausgehandelte Geschwindigkeit: jeweils 1 GBit). Auch hier zeigt sich eine lineare Leistungsaufnahme. In diesem Fall 74W als Grundlast und 0,5W Aufschlag pro Anschluss.

Als Alternative stehen Geräte der Catalyst 3560-Baureihe zur Nutzung im Datacenter zur Verfügung. Diese schnitten bei den Messungen schlechter ab und integrierten sich nicht so nahtlos in die Nexus Infrastruktur. Allerdings bieten sie lokales Switching und Routing in Wirespeed und sind daher nur schlecht mit den FEXen zu vergleichen. Die beiden Baureihen TS und PS haben eine Grundlast von 73W / 75W und einen Aufschlag von jeweils 0,8W / 0.85W pro benutzten Anschluss. Abbildung 5 zeigt alle drei möglichen Komponenten in einem Diagramm.

Aus Produktions- bzw. Betriebssicht interessiert das Verhalten der Switche unter Last. Für den Messaufbau wurden alle Anschlüsse gesteckt und alle Ports mit kleinen Paketen geflutet, um ein Gefühl für das Aufmaß zu bekommen, welches durch verschiedene Lasten induziert werden könnte.

Last [%]	Nexus 2248TP1GE [W]	C3560G-48PS-S [W]	C3560G-48TS-S [W]
0	96,97	116,25	113,78
10	96,96	117,53	113,41
20	97,10	118,89	113,65
30	97,06	119,41	113,79
40	97,15	120,54	113,72
50	97,16	121,36	113,89
60	97,18	122,28	114,15
70	97,24	122,95	114,33
80	97,30	123,88	114,49
90	97,30	124,26	114,59
100	97,33	124,87	114,55
Δ	+ 0,36	+ 8,62	+ 0,77W

Tabelle 1: Energieverbrauch nach Last – Nexus 2248TP1GE / C3560-48PS-S * C3560-48TS-S

Für die Lasterzeugung wurde ein Fluke Optiview Networkanalyzer benutzt, der einen Generator für synthetische Netzlasten bereitstellt. Als Eingaben erwartet das Werkzeug die Art des zu erzeugenden Paketstromes und ein Prozentsatz der ausgehandelten Verbindungsgeschwindigkeit, die ausgelastet werden soll.

Bei den FEXen und der 3560-TS Reihe ist der Unterschied zwischen Ruhezustand und 100% Auslastung der Anschlüsse um die 1W. Bei dem Gerät aus der 3560-PS Familie liegen die beiden Werte weiter auseinander. Der Grund des Phänomens ist noch nicht geklärt. Eine mögliche Erklärung könnte der Betrieb des Netzteiltes in einem Teillastbereich sein. Das Netzteil des 3560-PS muss noch Reserve bis 534W vorhalten um 370W PoE Power bereit zu stellen.

3.3 Fazit und Optimierungsempfehlungen

Folgende Ergebnisse lassen sich aus dem Versuchsaufbau und den Messungen der aktiven Komponenten festhalten.

Zu den Cisco-Komponenten:

Auf der **Beschaffungsseite** stimmen die gemessenen Leitungsdaten der Cisco Komponenten sehr genau mit den Datenblättern (Cisco Systems, Cisco Nexus 2000 Series Fabric Extenders Data Sheet, 2012) (Cisco Systems, Cisco Catalyst 3560 Series Switches Data Sheet, 2012) überein. Ein Vergleich mit Netzkomponenten anderer Hersteller wurde noch nicht vorgenommen.

Auf der **Produktionsseite** ist die Anfangsleistungsaufnahme relativ hoch und wächst dann pro Port annähernd linear. Es aus energetischer Sicht daher anzustreben, aktive Komponenten jeweils voll zu belegen. Dagegen spielt das Lastverhalten der Switches aus energetischer Sicht eine untergeordnete Rolle. Das deckt sich mit den Erfahrungen in (Joseph Chabarek, 2008). Bei den FEXen und der 3560-TS Reihe verbraucht ein voll ausgelasteter Switch benötigt als 1% mehr Energie. Wie schon im Datenblatt skizziert, ist der Aufschlag bei der 3560-PS Reihe höher. In unserer Messung liegt er bei 5%.

Insgesamt sollten Switches daher möglichst voll belegt werden. PoE sollte nur da verbaut werden, wo es nötig ist.

Zum Aufbau des Rechenzentrums:

Bei der Planung des Rechenzentrums wurden für jeden Schrank, der überwiegend mit 1GE-fähigen Servern ausgebaut werden soll, zwei FEXen in den obersten Bauhöhen eingebaut. Jeder Server muss auf beide FEXen angeschlossen werden und so konfiguriert werden, dass der Ausfall eines Anschlusses toleriert wird.

Auf der einen Seite verspricht das Konzept eine strukturierte Verkabelung, einfache Updates bei den Switchen im Accessbereich der Server und hohe Ausfallsicherheit. Die Kehrseite der Medaille sind evtl. hoher Verschnitt und die damit verbundene Energievergeudung.

In jedem Serverschrank sind zwei redundante Stromzuführungen vorhanden um redundante Netzteilte der Server anzuschließen. Da die Fabric Extender auch mit redundanten Netzteilten beschafft wurden, sind beide Geräte in einem Schrank jeweils auf beide Zuführungen angeschlossen. Das ganze Setup ist durch den Aufbau gegen den gleichzeitigen Ausfall von einer FEX und einer Stromzuführung robust. Hier hätte auch evtl. die Ausführung mit einem Netzteil gereicht. Anschaffungskosten, Aufwand in der Verkabelung und die Energieaufnahme zum Betrieb des zweiten Netzteiltes könnten so eingespart werden. Das Einsparpotential wird in Kapitel 4.3.3 genauer erläutert.

4 Netzwerkkomponenten auf dem Campus

In den Etagenverteilern in den Gebäuden am Campus sind Kombinationen aus Cisco Catalyst 45xx und Catalyst 3650 verbaut. Grundidee ist, dass möglichst alle Anschlüsse auf aktiven Komponenten aufgelegt werden, egal ob dahinter Gerät betrieben werden oder nicht (Vollauflegung). So muss bei der Anforderung nach Netzwerk hinter einem Anschluss nur an der Konfiguration des Switches gearbeitet werden anstatt auf Zuruf nach zu verkabeln und evtl. weitere Komponenten einzubauen.

Bei der Wahl der aktiven Komponenten ist die Strategie, möglichst viele Anschlüsse durch die modulare Baureihe 45xx abzudecken und den Rest mit Catalyst 3560 zu versorgen. Aus der modularen Reihe wird am meisten das Chassis 4506-E mit 6 Einschüben verbaut.

Beispielhaft wird hier der Bauteil O betrachtet, in dem neben sich dem neuen Rechenzentrum ebenso Büroraume der Fakultät für Informatik, der Fakultät für Kulturwissenschaften, zwei Hörsäle und diverse Seminarräume befinden. In den Räumlichkeiten außerhalb des Rechenzentrums befinden sich ~ 1.150 Netzwerkanschlüsse, die in 4 Netzwerkverteilern auflaufen.

Insgesamt sind

- 1x WS-C4506-E mit 2x WS-X4648-RJ45V+E Linecard
- 1x WS-C4506-E mit 5x WS-X4648-RJ45V+E Linecard
- 1x WS-C3560G-48PS-S
- 4x WS-C4506-E mit 4x WS-X4648-RJ45V+E Linecard

verbaut, um alle Anschlüsse im Gebäude auf Switchports aufzulegen.

Die folgenden zwei Unterkapitel beschäftigen sich mit den Ergebnissen von exemplarischen Energiemessungen.

4.1 Catalyst 4506-E

Da es sich bei der 45xx Reihe um modulare Switche handelt, gibt Cisco seinen Kunden einen Kalkulator an die Hand, der die mögliche Energieaufnahme bei einer gegebenen Konfiguration berechnet. In unserem Fall schauen wir uns den Aufbau mit einer Supervisor-Engine WS-X45-SUP7L-E, fünf S-X4648-RJ45V+E Linecards, zwei Netzteilen, von dem eins angeschlossen ist, an.

Power Consumption/Heat Disipation Summary/Configuration Details						
Slot	Line Card	Output Current (A)	Output Power (W)	Typical Power Used (W)	Heat Dissipation (BTU/Hr)	Optional Uplink Module
Chassis	WS-C4506-E	10.00	120.00	96.00	482.12	--
1	WS-X45-SUP7L-E	23.30	279.60	223.68	1123.33	--
2	WS-X4648-RJ45V+E	7.67	92.04	73.63	369.78	--
3	WS-X4648-RJ45V+E	7.67	92.04	73.63	369.78	--
4	WS-X4648-RJ45V+E	7.67	92.04	73.63	369.78	--
5	WS-X4648-RJ45V+E	7.67	92.04	73.63	369.78	--
6	WS-X4648-RJ45V+E	7.67	92.04	73.63	369.78	--
Total		71.65	859.80	687.84	3454.37	
Total Output Current	71.65 Amps					

Total Output Power 859.80 Watts
Total Typical Output Power 687.84 Watts
Total Heat Dissipation 3454.37 BTU/Hr
NOTE:
 Output Power is the amount of power delivered from the Power Supply to the Catalyst 4500-E. To figure Input Power, divide output power by .85 (typical efficiency of the power supplies).
NOTE:
 Output Power and Heat Dissipation numbers computed by the Cisco Power Calculator are maximum values and can be used for facility power and cooling capacity planning. These figures are not indicative of the actual power draw or heat dissipation. Typical power draw is about 20% lower than the maximum value shown. Also note that most of power allocated for PoE devices is dissipated at the end points.

Abbildung 6: Ausgabe des Cisco Power Calculators

Der „Cisco Power Calculator“ (Cisco Systems, Cisco Power Calculator, 2012) liefert bei der gegebenen Konfiguration eine Energieaufnahme von 688W bis 860W auf der Sekundärseite der Netzteile und gibt den Hinweis den Wert mit 0.85 zu multiplizieren, um die Leistungsaufnahme auf Primärseite zu berechnen. (siehe Abbildung 6)

```
switch4506#sh power detail
Power
Supply      Model No          Type      Status      Fan      Inline
            Model No          Type      Status      Sensor   Status
-----
PS1         PWR-C45-2800AC   AC 2800W  good        good     good
PS2         PWR-C45-2800AC   AC 2800W  bad/off     bad/off  bad/off

Power supplies needed by system      : 1
Power supplies currently available   : 1

Power Summary
(in Watts)                          Used      Maximum
-----
System Power (12V)                   843      1360
Inline Power (-50V)                   0        1400
Backplane Power (3.3V)                 0         40
-----
Total                                843      2800

                                Watts Used of System Power(12V)
Mod  Model          budgeted instantaneous peak  out of reset  in reset
-----
1    WS-X45-SUP7L-E    263          94          94          263          100
2    WS-X4648-RJ45V+E  92           --           --           92           10
3    WS-X4648-RJ45V+E  92           --           --           92           10
4    WS-X4648-RJ45V+E  92           --           --           92           10
5    WS-X4648-RJ45V+E  92           --           --           92           10
6    WS-X4648-RJ45V+E  92           --           --           92           10
--   Fan Tray         120          --           --           --           --
-----
Total                                843          94          94          723          150

                                Watts used of Chassis Inline Power (-50V)
Mod  Model          Inline Power Admin  Inline Power Oper  Efficiency
-----
1    WS-X45-SUP7L-E    -                 -                 -                 -
2    WS-X4648-RJ45V+E  0                 0                 13                12           93
3    WS-X4648-RJ45V+E  0                 0                 10                9            93
4    WS-X4648-RJ45V+E  0                 0                 10                9            93
5    WS-X4648-RJ45V+E  0                 0                 10                9            93
6    WS-X4648-RJ45V+E  0                 0                 10                9            93
-----
Total                                0                 0                 53                48

switch4506#
```

Abbildung 7: Selbstauskunft des Catalyst 4506

Neben dem „Cisco Power Calculator“ gibt der Switch ebenfalls eine Selbstauskunft bzgl. des Energieverbrauches über die Konfigurationsschnittstelle aus. Hier lässt sich ein Wert zwischen 723W und 843W ablesen (siehe Abbildung 7).

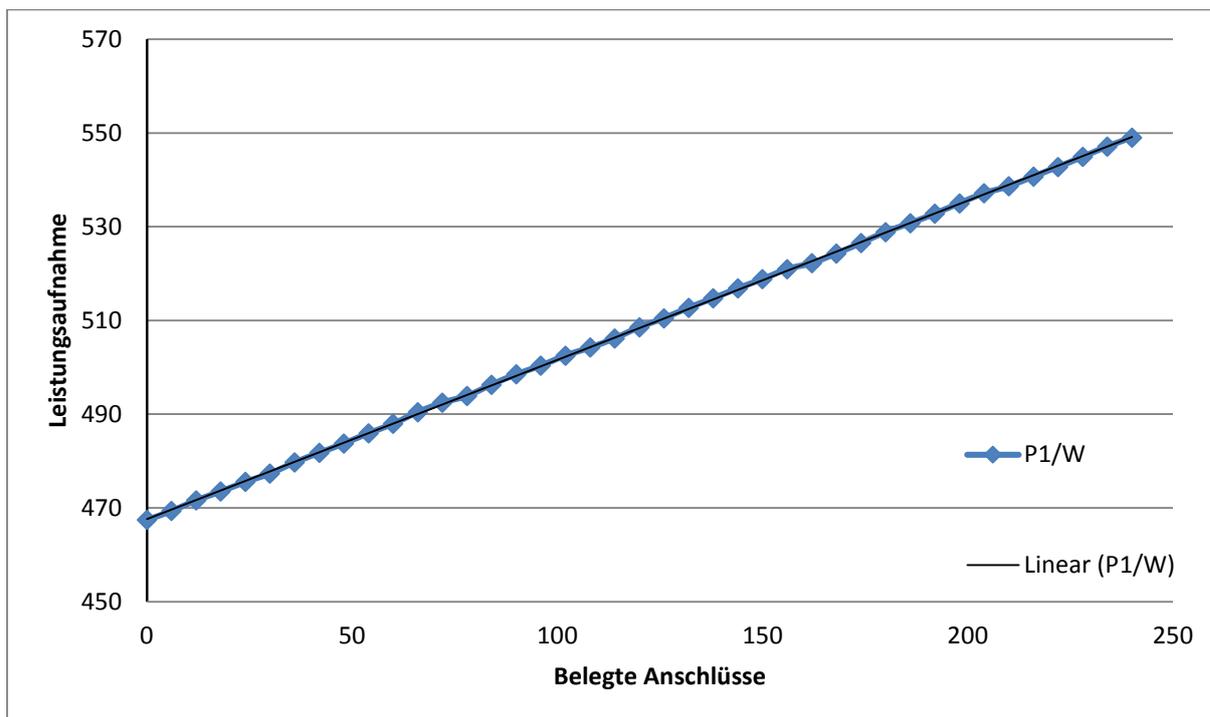


Abbildung 8: Energieverbrauch eines Catalyst 4506 nach belegten Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit

Abbildung 8 demonstriert den im Versuchsaufbau tatsächlich gemessenen Energieverbrauch nach der Anzahl der belegten Anschlüsse im Ruhezustand und zeigt zwischen 467W und 549W je nach Anzahl der verwendeten Ports (ausgehandelte Geschwindigkeit: jeweils 1 GBit). Nach einer Erstaufnahme von 467W beträgt der Aufschlag pro dazu geschalteten Port etwa 0,3W.

Last [%]	P1/W
0	549,906
10	551,167
20	553,247
30	554,288
40	555,197
50	556,422
60	557,401
70	557,538
80	557,936
90	558,356
100	558,889

Tabelle 2: Energieverbrauch nach Last – Catalyst 4506

Konfrontiert man den Switch ebenfalls mit der in Kapitel 3 schon erwähnten synthetischen Last an allen Anschlüssen steigt der Energieverbrauch um die 9W. Das entspricht einem Unterschied von 1,6%.

Insgesamt liegt der gemessene Stromverbrauch damit unterhalb der von Cisco publizierten Werten.

4.2 Catalyst C3560G-48TS-S / C3560G-48PS-S

Anschlussmengen, die zu gering für die Module Serie WS-C45xx-E sind, werden üblicherweise auf Cisco Catalyst 3560 aufgelegt. Diese Serie gibt es als TS und als PS Ausführung. Die PS Bauform unterscheidet sich zur TS Variante in der Versorgung von PoE Endgeräten.

Das Datenblatt (Cisco Systems, Cisco Catalyst 3560 Series Switches Data Sheet, 2012) offeriert eine große Menge von verschiedenen Leistungszahlen in verschiedenen Lastbereichen. Verzichtet man auf die Abnahme von Energie per PoE und setzt die 5% Last als untere und die 100% Last als obere Schranke kommt man für die beiden Baureihen auf jeweils:

- 3560G-48TS: 113 W bis 124 W
- 3560G-48PS: 123 W bis 130 W

Die im Versuchsaufbau tatsächlich gemessenen Werte sind bereits in Abbildung 5 eingezeichnet und belaufen sich auf:

- 3560G-48TS: 73 W bis 112 W, je nach Anzahl Ports ; +1W bei voller Last
- 3560G-48PS: 123 W bis 130 W, je nach Anzahl Ports ; +8W bei voller Last

Auch hier liegen die gemessenen Werte unter (für TS) oder im Bereich der von Cisco angegebenen Energie-Aufnahme.

4.2.1 Produktions- bzw. Betriebssicht

Bei den Messungen in Kapitel 3 hatte sich bereits gezeigt, dass vollbelegte Switche pro Port energieeffizienter sind als nur teilbelegte Switche. In diesem Kapitel steht daher die Frage im Vordergrund, wie viele Switchports tatsächlich in Benutzung sind.

In jedem Mitarbeiterbüro im Bauteil O sind acht Netzwerkanschlüsse für im Schnitt zwei Mitarbeiter verlegt worden. Davon werden in der Regel zwei Anschlüsse für zwei VoIP Telefone und zwei weitere Anschlüsse für Notebook oder PC gebraucht. Der Rest ist für spätere Anforderungen, Drucker und weitere Computer vorgesehen. Üblicherweise sind diese aber schon in das passende Netz geschaltet und tauchen in der folgenden Darstellung als „nicht verbunden“ auf.

Diese Vorgehensweise hat im Betrieb den Vorteil, dass neue Netzanforderungen (z.B. neue Dose in Betrieb nehmen) per Konfiguration auf den aktiven Komponenten vorgenommen werden können. Es muss kein Techniker vor Ort Kabel patchen und danach die Dokumentation auf den aktuellen Stand bringen. Der personelle und zeitliche Aufwand für diese Standardaufgabe im Betrieb kann somit deutlich reduziert werden. Man erkaufte sich diesen Vorteil durch die Beschaffung auf Vorrat von nicht benötigten Switchports sowie deren Energieverbrauch im laufenden Betrieb. Dieser Energieverbrauch soll in diesem Kapitel nun genauer untersucht werden.

Konkrete Fragestellungen bei der Untersuchung waren:

- Wie stark schwankt die Nutzung der Anschlüsse über den Tag? Verschwinden Geräte in den späten Abendstunden und tauchen am Morgen wieder auf?
- Gibt es Anschlüsse, die wenig bis nie benutzt werden?

Um den o.g. Fragen nachzugehen, wurde als Methode zyklisch der Zustand aller Switchports gespeichert und ausgewertet.

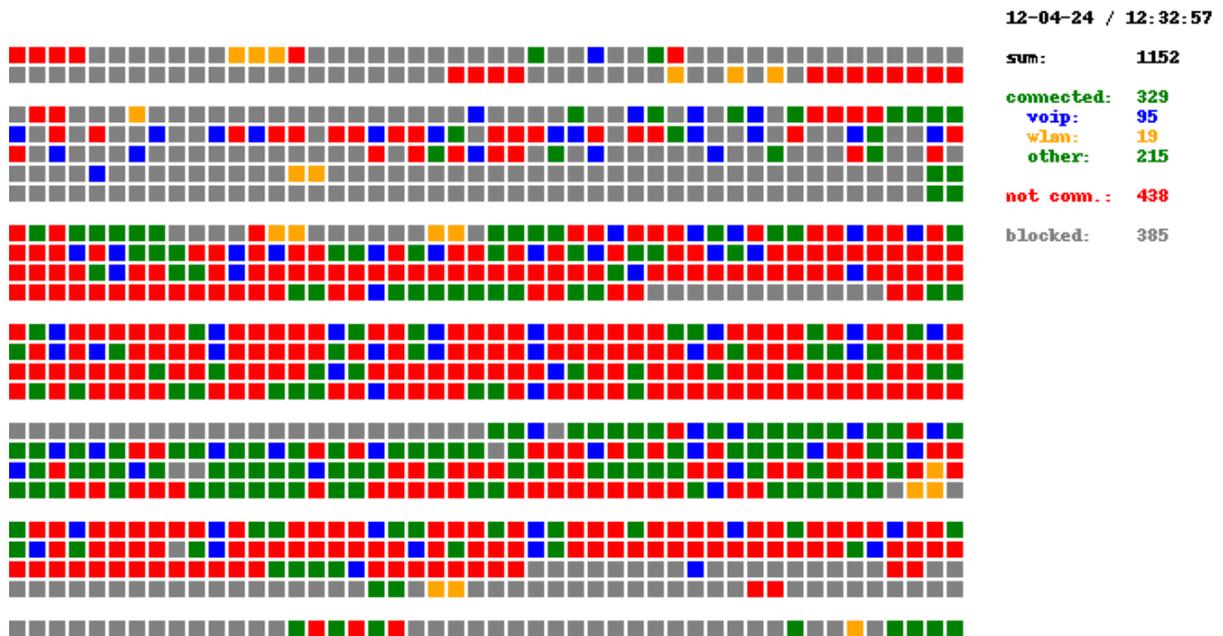


Abbildung 9: Verwendung der Anschlüsse am Arbeitstag

Abbildung 9 schlüsselt eine typische Verwendung der Switchports zur Mittagszeit auf. In diesem Moment wurden 95 VoIP Telefone, 19 Accesspoints und 215 andere Geräte mit Netzwerk versorgt. Dazu gehören die PCs und Notebooks der Mitarbeiter, ein experimentelles Sensor-Netz, Drucker und andere Geräte. 438 Anschlüsse sind zwar für ein VLAN geschaltet, aber nicht verbunden. Die restlichen 385 Anschlüsse sind auf aktiven Komponenten gepatcht, aber deaktiviert.

Grob gesprochen sind also von den insgesamt 1.152 Ports knapp 1/3 genutzt, ein weiteres knappes 1/3 für die Nutzung direkt vorbereitet und das restliche Drittel vorhanden aber ungenutzt.

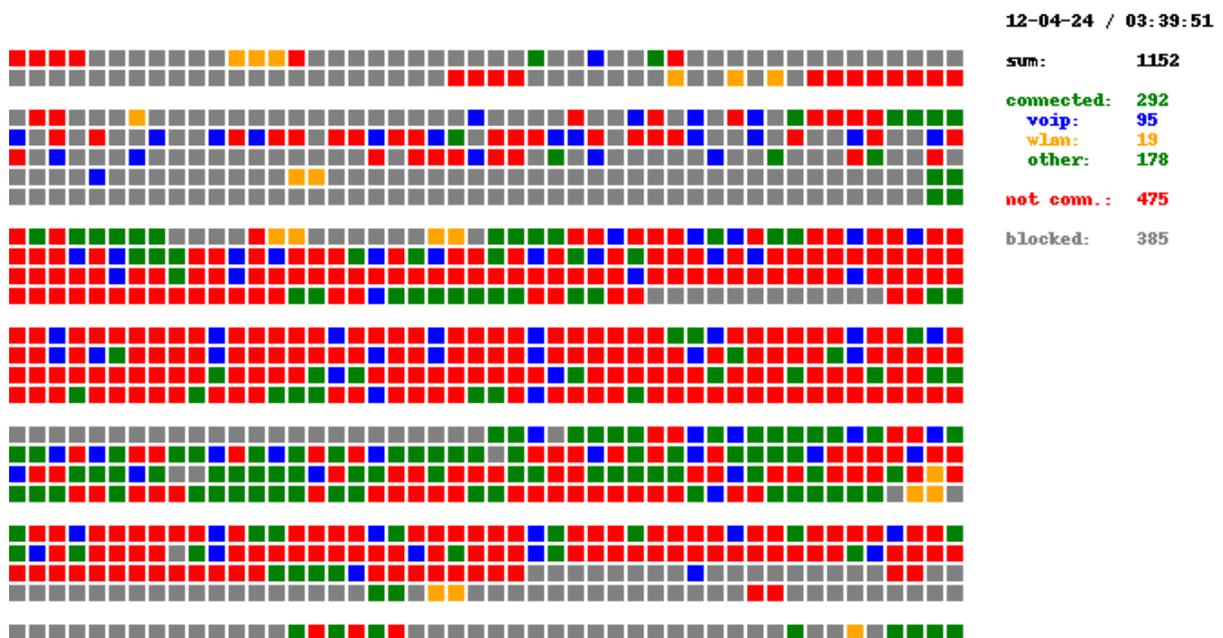


Abbildung 10: Verwendung der Anschlüsse in der Nacht

Abbildung 10 ist eine Momentaufnahme aus der Nacht. Offensichtlich haben (nur!) 37 Anschlüsse ihr Endgerät verloren. 178 Geräte sind noch am Netz, davon bereits abgezogen WLAN Accesspoints und VoIP Telefone. Knapp 10 Geräte haben, wahrscheinlich durch Standby-Zustände, ihre Verbindungsgeschwindigkeit auf 10 oder 100 MBit gesenkt, sind aber weiterhin Online und warten darauf wieder aufgeweckt zu werden. 47 der 178 Geräte gehören zu einem experimentellen Sensor-Netz. Der Rest teilt sich auf Drucker, Mitarbeiter-Computer und Laboraufbauten auf.

Das Ergebnis überrascht, weil wir von der Arbeitshypothese ausgegangen sind, dass fast jeder Switchport, der von einem PC oder Laptop genutzt wird, nachts am Switch als inaktiv gesehen wird. Es ist derzeit noch unklar, ob sich das Ergebnis so auf andere Gebäude übertragen lässt oder mit den Nutzungseigenschaften oder technischen Geräten im Gebäude O zusammenhängt.

4.3 Mögliche Optimierungen

4.3.1 Scale-Out vs. Scale-Up (modulare vs. stackable Switche)

Optimiert man die Netzwerkverteiler auf Energieeffizienz anstatt wie bisher auf Wartungsminimierung, werden Module frei und können entfernt werden. Mehrere Switche können, soweit es die baulichen Anforderungen zulassen, abgeschaltet, konsolidiert oder gegen kleinere getauscht werden. Der Effekt wird im Folgenden exemplarisch analysiert.

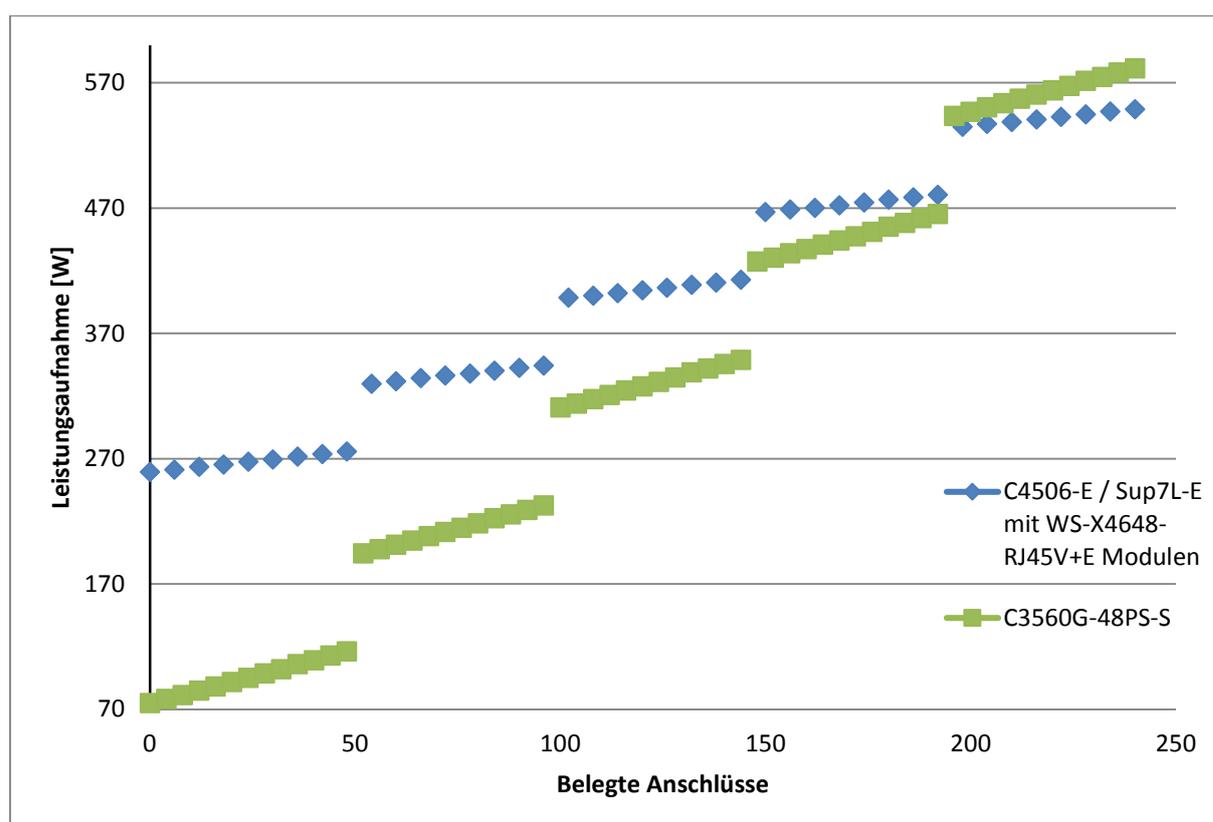


Abbildung 11: Versorgung von 240 Anschlüssen im Vergleich

Entfernt man die Patche für Dosen, die aktuell deaktiviert sind und die Hälfte der Dosen, die durchgängig ungebraucht sind, lassen sich im ersten Schritt etwa 12 der 24 verbauten Module mit jeweils 48 Port einsparen. Verbaut man, um zukunftsicher zu sein, trotzdem genügend große Chassis um den Vollausbau aufzunehmen, liegt das Einsparpotential bei 12 mal der Leistungsaufnahme eines 48 Port

Modules. In Zahlen $12 \times 52W = 624W$ (~ 5500 kW/h pa) für die im Beispiel verbauten WS-X4648-RJ45V+E Linecards.

Dabei sollte man allerdings im Hinterkopf behalten, dass schon bei einer fehlenden Linecard der Aufbau mit kleinen Switches energieeffizienter sein kann. Abbildung 11 vergleicht den im Labor simulierten Ausbau von 240 Anschlüssen durch die modulweise Erweiterung eines Catalyst 4506-E Chassis gegen einzelne C3560G-48PS-S Switche.

Als Handlungsoption lässt sich aus diesen Messungen die Empfehlung ableiten bei der Forderung von bis zu 144 Anschlüssen drei kleine Switches einzusetzen und erst bei weiterem Ausbau die einzelnen Geräte durch einen modularen Switch zu tauschen. Die so realisierten Einsparungen bei der Beschaffung und im Betrieb werden anhand der folgenden Tabellen gegenübergestellt.

	Raum	Anzahl	Gerätekonfiguration	Einzel		Summe	
				Idle[W]	Voll 1G[W]	Idle[W]	Voll 1G[W]
Aktuell	O2a	1	WS-C4506-E / 2x WS-X4648-RJ45V+E	294	334	294	334
	O2b	1	WS-C4506-E / 5x WS-X4648-RJ45V+E	450	550	450	550
		1	WS-C3560-48PS-S	75	118	75	118
	O3a	2	WS-C4506-E / 4x WS-X4648-RJ45V+E	398	478	796	956
	O3b	2	WS-C4506-E / 4x WS-X4648-RJ45V+E	398	478	796	956
			1152 Anschlüsse		Summe:	2411	2914
		2,1W – 2,53W pro Port		KWh p.a.:	21120	25526	
				€(0,20 / KWh):	4224	5105	

	Raum	Anzahl	Gerätekonfiguration	Einzel		Summe	
				Idle[W]	Voll 1G[W]	Idle[W]	Voll 1G[W]
Alternative	O2a	1	WS-C3560-48PS-S	75	118	75	118
	O2b	3	WS-C3560-48PS-S	75	118	225	354
	O3a	1	WS-C4506-E / 5x WS-X4648-RJ45V+E	450	550	450	550
	O3b	1	WS-C4506-E / 5x WS-X4648-RJ45V+E	450	550	450	550
			672 Anschlüsse		Summe:	1200	1572
		1,78W – 2.34W pro Port		KWh p.a.:	10512	13770	
				€(0,20 / KWh):	2102	2754	

Tabelle 3: Leistungsaufnahme - Aktueller Aufbau des Netzwerkes im Bauteil O und Alternative

Im oberen Teil der Tabelle 3 ist der Stromverbrauch in der aktuellen Konfiguration aufgeführt. Die aufgenommene Leistung liegt zwischen 2,4 und 2,9 kW, die Kosten bei 0,20 €/KWh zwischen 4.224 und 5.105 €/p.a. Verzichtet man nun auf die Auflegung von den Dosen, die nicht belegt und nicht geschaltet sind und legt in den Büros nur benutzte Dosen (natürlich mit Reserve in jedem Büro) auf, reicht die Konfiguration im unteren Teil der Tabelle. Die Anzahl der benötigten Komponenten verringert sich, die modularen Switche werden voll bestückt und damit besser ausgelastet. Die Energieauf-

nahme kann somit halbiert werden und schlägt sich in jährlichen Einsparungen von 2.000 € im Gebäude O nieder. Bei insgesamt 30 Gebäude kann so ein mögliches Einsparpotential von 30 x 10.000 kWh und 30 x 2.000 € hochgerechnet werden. Ob das realistisch ist, muss noch geprüft werden.

Anzahl	Gerätekonfiguration	Einzelpreis (Netto)	Summe (Netto)
4	WS-C4506-E / 4x WS-X4648-RJ45V+E	18.293 €	73.172 €
1	WS-C4506-E / 2x WS-X4648-RJ45V+E	11.601 €	11.601 €
1	WS-C4506-E / 5x WS-X4648-RJ45V+E	21.639 €	21.639 €
1	WS-C3560-48PS-S	5.995 €	5.995 €
		Summe:	112.407 €
		pro Port:	97,60 €

Anzahl	Gerätekonfiguration	Einzelpreis (Netto)	Summe (Netto)
4	WS-C3560-48PS-S	5.995 €	23.980 €
2	WS-C4506-E / 5x WS-X4648-RJ45V+E	21.639 €	43.278 €
		Summe:	67.258 €
		pro Port:	100 €

Tabelle 4: Beschaffung - Aktueller Aufbau des Netzwerkes im Bauteil O und Alternative

Eine finanzielle Entlastung sich auch bei der Anschaffung bemerkbar. Tabelle 4 stellt die Netto-Summen der beiden Szenarien auf. Der Pro-Port-Preis steigt durch die 3560er um 2€ pro Anschluss. Insgesamt sinken aber die Anschaffungskosten, der gesamte Energieverbrauch und der Energieverbrauch pro Port auf die Hälfte.

Der Nachteil bei der obigen Empfehlung liegt im erhöhten Personal- und Zeitaufwand bei klassischen Rangierarbeiten (Dose patchen). Mit wie vielen solcher Arbeiten im täglichen Normalbetrieb (Ausnahmen sind Umzüge von ganzen Arbeitsgruppen auf Grund von Baumaßnahmen) zu rechnen ist, muss noch evaluiert werden.

Fazit:

Mit einem bedarfsorientierten Ausbau lassen sich sowohl auf der Beschaffungsseite als auch im Betrieb Kosten senken. Die Energie-Effizienz wird deutlich gesteigert. Diese Ergebnisse wurden exemplarisch am Gebäude O hergeleitet. Sie müssen mit dem gesamten Campus in Relation gesetzt werden und zusätzlich noch erhöhte Betriebsaufwände bei Nachverkabelung und Rangierarbeiten einbeziehen.

4.3.2 10/100/1000 MBit – Portgeschwindigkeit je nach Anforderung

Eine andere Möglichkeit der Energieoptimierung baut auf eine Patenteinrichtung (US Patent No. US 2006/0285494 A1, 2005) von 2006 und Beobachtungen im Versuchsaufbau auf.

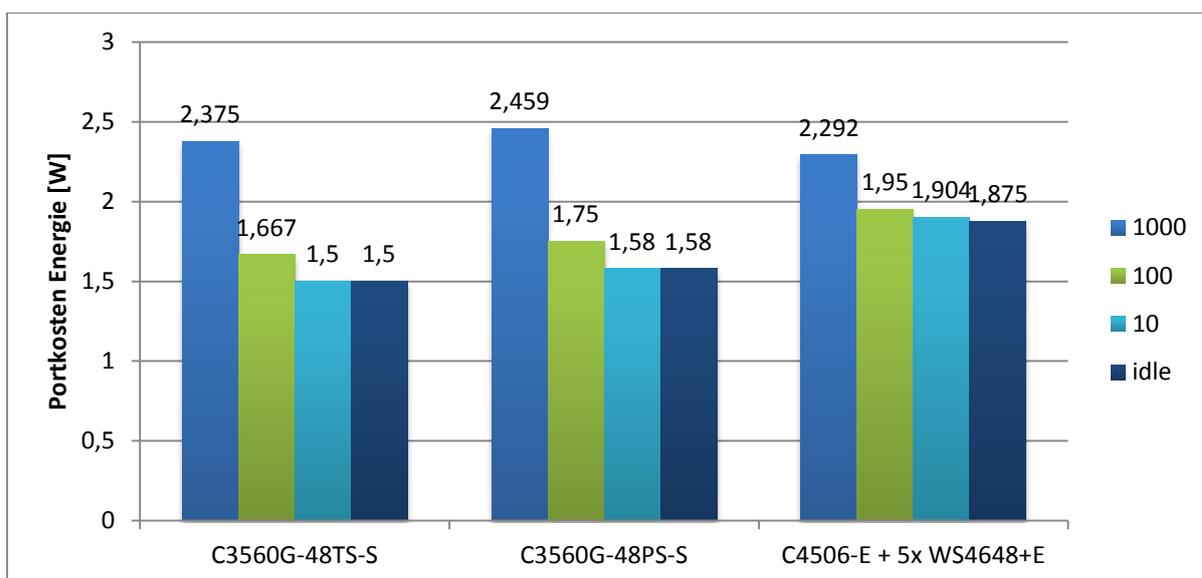


Abbildung 12: Energiekosten pro Port bei unterschiedlichen Verbindungsgeschwindigkeiten

Abbildung 12 fasst Messungen aus dem Versuchsaufbau zusammen. Die Fragestellung war, ob Switchports mit niedrigeren ausgehandelten Verbindungsgeschwindigkeiten energetisch günstiger sind. Die Messungen belegen, dass

- Ports auf denen 1 Gbit ausgehandelt wurde auch heute noch deutlich energiehungriger sind als Anschlüsse, die auf 100 MBit oder 10 MBit ausgehandelt wurden.
- Ports im IDLE-Zustand kaum weniger Energie benötigen als im Betrieb bis zu 100 MBit
- die Differenz des Energieverbrauchs zwischen 1 GBit und 100 MBit bei der 3560er Serie deutlich höher ist bei der 4506er Serie.

Das erwähnte Patent realisiert eine variable Portgeschwindigkeit je nach Nachfrage der Bandbreite.

4.3.3 Redundanz im Datacenter, aber zu welchem Preis

Das dritte Beispiel betrachtet die Schere zwischen der größtmöglichen Redundanz und möglicher Energieersparnis und beleuchtet die in Kapitel 3 bereits problematisierte Architektur um Rechenzentrum. Wie bereits geschildert sind aktuell alle FEXen mit zwei Netzteilen ausgestattet, die an jeweils zwei redundanten Zuleitungen angeschlossen sind. In jedem Schrank sind zwei FEXen eingebaut. Jeder Server muss auf beiden FEXen angeschlossen werden und den Ausfall eines Anschlusses per LACP auffangen. Als Nebeneffekt verdoppelt sich damit sowohl die angebundene Bandbreite des Rechners als auch der Energieverbrauch, weil zwei Netzteile pro FEX betrieben werden müssen.

Das Setup bietet den Komfort, dass beim Ausfall einer Zuleitung und gleichzeitigen Ausfall eines Netzteiltes beide FEXen weiter laufen und beide Anschlüsse zu dem jeweiligen Server erreichbar bleiben. Der Betrieb des zweiten Netzteiltes kostet allerdings zusätzlich Leistung.

Fabric Extender Nexus 2248TP1GE	Zwei Netzteile:	36,31 W
		43,20 W
		<hr/> <hr/> 79,50 W
	Ein Netzteil:	66,67 W

Bei den verbauten FEXen liegt zwischen dem Betrieb mit einem Netzteil und zwei Netzteilen ein Unterschied von ungefähr 13W (20% mehr Energieaufnahme bei zwei Netzteilen im Vergleich zu einem Netzteil). Bei aktuell 32 FEXen im Rechenzentrum beträgt der Overhead auf der Netzinfrastrukturseite 416W – 3.644 kWh/p.a. – 729 €/p.a.

Es ist kritisch zu prüfen, ob der Mehraufwand in der Beschaffung und im Energieverbrauch sinnvoll ist, um das gleichzeitige Eintreten der beiden negativen Ereignisse (Stromausfall auf einer Zuleitung g und gleichzeitiger Ausfall einer FEX) abzufedern. Im Falle des neuen Rechenzentrums im Bauteil O muss nach den aktuellen Vereinbarungen zur Dienstgüte ein Server immer mit dem Ausfall eines Switches durch Softwareupdates rechnen und die SLA der Netzanbindung ans Internet durch das Deutsche Forschungsnetz ist „Best Effort“.

5 WLAN

Um Einsparungspotenziale für den Stromverbrauch von WLAN-Infrastrukturen zu identifizieren, wurde zunächst exemplarisch eine Analyse der vorhandenen Infrastruktur der Universität Paderborn und ihrer Nutzung durchgeführt. Für diese wurden sowohl das Benutzeraufkommen zu verschiedenen Zeiten als auch die vorhandenen Access Points und ihre räumliche Verteilung betrachtet. Die hier beschriebenen Erkenntnisse sind in analoger Form auch auf andere Infrastrukturen übertragbar.

Dieser Absatz beschreibt eine Kurzfassung der Veröffentlichung „Energieeffizienz im WLAN“ [Boehner et al. 2014)].

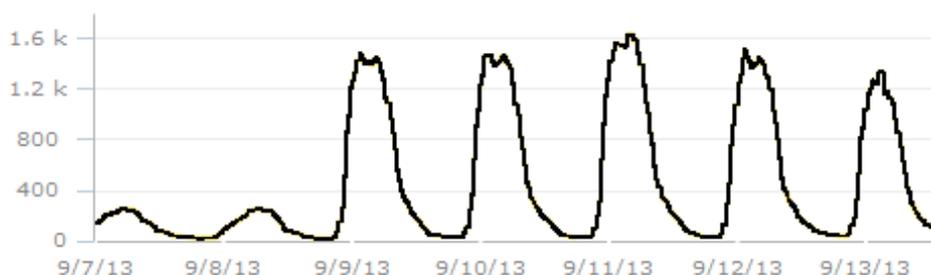


Abbildung 13: Benutzerzahlen wöchentlich (Sa-Fr)

Wie schon erwartet, schwanken die Benutzerzahlen im WLAN der Universität stark über Tag. Ebenso gibt es gravierende Unterschiede zwischen Wochentag und Wochenende. Abbildung 13 zeigt einen Auszug aus dem Monitoringsystem des WLAN Netzes. Deutlich erkennbar sind die Vorlesungszeiten, sowie der Unterschied zwischen Universitätsbetrieb und vorlesungsfreie Zeit.

Zum Zeitpunkt der Bestandsaufnahme waren an der Universität Paderborn 393 Cisco Access Points diverser Modelle in Betrieb. Da die Angaben des Herstellers bezüglich des Stromverbrauchs im Betrieb unter *Power-over-Ethernet* lediglich den Maximalverbrauch enthielten, wurden eigene Messungen durchgeführt, um den *idle*-Verbrauch der Access Points festzustellen. Messungen im Produktiveinsatz von APs konnten keinen wesentlichen Unterschied im Stromverbrauch in Abhängigkeit von aktiven Nutzern oder großer Auslastung feststellen. Der Stromverbrauch aller Access Points an der Uni Paderborn beträgt somit täglich 91.5 kWh. Die Bestandsaufnahme an der Universität Paderborn hat ergeben, dass durchschnittlich 65% der vorhandenen APs sich nicht in Nutzung befinden.

Im Rahmen einer Masterarbeit (Boehner, 2012) wurden Konzepte aufgestellt um während Randzeiten das Netz auszudünnen. Hierbei sollte ein guter Kompromiss zwischen Dienstgüte und Energieersparnis ausgearbeitet werden. Ergebnis ist eine Energieeinsparung von 15% bei gleichbleibender Dienstgüte im Vergleich zu einer Einsparung von 25% bei einer Komplettabschaltung zwischen 23 und 7 Uhr.

6 Fazit und offene Punkte

Aus der **Beschaffungssicht** wurden die Daten des Herstellers Cisco aus Datenblättern, dem Cisco PowerCalculator und der Selbstauskunft von Switchen mit eigenen Messungen im Versuchslabor verglichen. Als Ergebnisse lassen sich festhalten:

- Die Ergebnisse aus den Datenblättern lassen sich reproduzieren (DataCenter und Campus)
- Die Messergebnisse sind bei Nexus 55xx, Nexus 2xxx, C3560G-48TS-S, WS-C4506-E besser als in den Datenblättern.
- Bei der Serie C3560G-48PS-S ergibt sich ein schlechteres Messergebnis. Eine mögliche Erklärung könnte der Betrieb des Netzteilbereichs in einem Teillastbereich sein.

Aus der **Produktions- bzw. Betriebssicht** wurden die folgenden Ergebnisse festgestellt:

- Die Leistungsaufnahme steigt nach einer relativ hohen Grundlast mit der Portbelegung linear, d.h. Router/Switches sind bei Vollbelegung am energie-effizientesten.
- Im Vergleich von modularen ausbaufähigen Switchen zu sogenannten stackable Switches sollte man energetischer Sicht den Aufbau zunächst stacked beginnen, modular lohnt sich erst bei Fast-Vollbelegung (mindestens Belegung mit mehr als 50% des modularen Switches).
- Die Energieaufnahme der Switches ist von ihrer Verkehrslast fast unabhängig. Eine Differenz ergibt sich im Versuchsaufbau bei den PoE-fähigen Switches. Eine mögliche Erklärung könnte auch hier der Betrieb des Netzteilbereichs in einem Teillastbereich sein.
- Die Energieaufnahme pro Port entscheidet sich dramatisch pro Portgeschwindigkeit. Ein 1 GB-Port ist energetisch deutlich teurer als 10/100Mbit. Dies gilt insbesondere bei den kleineren stackable Switches der Serie 3560. Es zeigt sich keine Differenz zwischen IDLE und 10 Mbit. Selbst aktuelle Switches können die Portgeschwindigkeit nicht dem Lastprofil anpassen, obwohl entsprechende Patente und Standards existieren.
- Die Portbelegung am Switch in Gebäude O bei Nacht zeigt nur eine minimale Änderungsrate von 10% abgeschalteten Geräten. Dies führt insbesondere mit der Strategie der Vollauflegung und den obigen Ergebnissen bzgl. Portgeschwindigkeit zu erheblicher Energieverschwendung.

Insgesamt lässt sich als Ergebnis festhalten, dass die vermessenen aktiven Netzkomponenten der Firma Cisco noch energiehungrig und energetisch lastabhängig zu wenig managebar sind.

Als Anforderung an die Hersteller ergibt sich daher:

- Ports müssen einzeln abschaltbar sein
- Die Portgeschwindigkeit muss lastabhängig aushandelt werden (Patent existiert, Standard 802.3az existiert)
- Der Standard 802.3az muss flächendeckend implementiert werden (derzeit nur in HP E 8200 zl und 5400 zl und Cisco 4500E mit WS-X4748-RJ45-E oder WS-X4748-UPOE+E umgesetzt. Angeblich soll die nächste Generation von Cisco Komponenten alle den o.a. Standard implementieren.

Bis dahin muss aus energetischer Sicht festgehalten werden:

- Keine Überkapazitäten: Nur das in Betrieb nehmen, was wirklich gebraucht wird.
- Dies gilt sowohl für Hardware als auch für die Port-Geschwindigkeit als auch für PoE-Fähigkeit.
- Eine genauere Analyse der Produktion/des Betriebs ist notwendig um bspw. die beobachteten Phänomene genauer analysieren zu können.

Weitere geplante Untersuchungen und offene Fragen

- Das in Gebäude O beobachtete Verhalten am Tag und in der Nacht muss genauer analysiert werden. Ist es typisch auf dem Campus und auch in anderen Gebäuden beobachtbar? Oder liegt es am Nutzungsprofil der Nutzer im Gebäude O (Informatiker) und ihrer technischen Ausstattung? Gilt es auch außerhalb des Campus?
- Das in Kapitel 4.3.1 für Gebäude O aus energetischer Sicht kalkulierte Optimierungspotential muss dem Mehraufwand im Betrieb (Personal und Zeit) gegenübergestellt werden. Insbesondere müssen die Anzahl und aufwände für Rangierarbeiten im täglichen Betrieb abgeschätzt werden.
- Das in Kapitel 4.3.1 für Gebäude O aus energetischer Sicht kalkulierte Optimierungspotential muss in Relation zum gesamten Campus gesetzt werden. Ist es ein typisches Belegungs-Szenario in Gebäude O oder ein Ausnahmeszenario?
- Der Gesamtenergieverbrauch aller Netzkomponenten auf dem gesamten Campus ist zu ermitteln. Es ist zu klären, ob zusätzliche Werkzeuge wie bspw. Joulex EnergyManager benötigt werden. Der Leistungsumfang des Werkzeugs Cisco EnergyWise ist zu prüfen.
- Die Cisco Komponenten, die den Standard zur Aushandlung der Portgeschwindigkeit implementieren, sollen ausgemessen und mit den vorhandenen Komponenten verglichen werden.
- Die Kaufentscheidung von neuen Komponenten an der Universität Paderborn muss den Energieverbrauch einbeziehen, die bisherigen Architekturentscheidungen (siehe 4.3.1 bis 4.3.3) müssen vor dem Hintergrund neuerer Komponenten nochmals bewertet werden.

7 Literaturverzeichnis

- Boehner, M. (2012). *"Optimization the Energy-Consumption of WLAN-Infrastructures"*, Master's Thesis. Universität Paderborn.
- Boehner, M., Porombka, S., & Oevel, G. (2014). *Energieeffizienz im WLAN*. GI Lectures Notes in Informatics: erscheint in: 7. DFN-Forum Kommunikationstechnologien - Verteilte Systeme im Wissenschaftsbereich .
- Cisco Systems, I. (20. 6 2012). Abgerufen am 20. 6 2012 von Cisco Catalyst 3560 Series Switches Data Sheet: http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps5528/product_data_sheet09186a00801f3d7d.html
- Cisco Systems, I. (20. 6 2012). Abgerufen am 20. 6 2012 von Cisco Power Calculator: <http://tools.cisco.com/cpc/>
- Cisco Systems, I. (18. 6 2012). *Cisco Nexus 2000 Series Fabric Extenders Data Sheet*. Abgerufen am 18. 6 2012 von http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps9441/ps10110/data_sheet_c78-507093.html
- Cisco Systems, I. (18. 6 2012). *Cisco Nexus 5548P, 5548UP, 5596UP, and 5596T Switches Data Sheet*. Abgerufen am 18. 6 2012 von http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps9441/ps9670/data_sheet_c78-618603.html
- Joseph Chabarek, J. S. (2008). Power Awareness in Network Design and Routing. *INFOCOM*, (S. 457-465). Phoenix.
- Yadong Li, P. L. (17. 6 2005). *US Patentnr. US 2006/0285494 A1*.

8 Anhang

8.1 Messwerte

Messgerät: ZES ZIMMER Electronic Systems GmbH LMG450

SN: 10121109 FW: 2.156

8.1.1 Cisco Fabric Extender Nexus 2248TP1GE, Belegung [001]

Anschl.	dt/s	Itrms1/A	Utrms1/V	P1/W	Q1/var	S1/VA	Itrms3/A	Itrms2/A	Utrms2/V	P2/W	Q2/var	S2/VA	Itrms13/A	Utrms13/V	P13/W	Q13/var	S13/VA
0	0,035	0,21093	231,2	35,157	33,796	48,767	0,029673	0,22706	231,17	38,518	35,656	52,488	0,31133	326,94	73,675	70,232	101,79
6	0,034	0,2161	231,21	36,688	33,917	49,964	0,029285	0,2323	231,14	40,078	35,732	53,693	0,31862	326,93	76,766	70,41	104,17
12	0,05	0,22152	231,21	38,19	34,129	51,218	0,029399	0,23739	231,14	41,558	35,828	54,87	0,32602	326,93	79,748	70,717	106,59
18	0,035	0,22591	231,22	39,435	34,254	52,235	0,029266	0,24295	231,13	43,166	35,914	56,153	0,33304	326,93	82,601	70,937	108,88
24	0,035	0,23142	231,17	41,011	34,355	53,499	0,029419	0,24731	231,11	44,402	35,991	57,157	0,33998	326,89	85,413	71,101	111,13
30	0,066	0,2364	231,23	42,384	34,522	54,664	0,029573	0,25253	231,1	45,866	36,087	58,361	0,34718	326,92	88,25	71,372	113,5
38	0,034	0,24063	231,21	43,553	34,622	55,637	0,029451	0,25839	231,09	47,469	36,224	59,711	0,35431	326,9	91,022	71,625	115,82
42	0,081	0,24629	231,23	45,098	34,774	56,948	0,029049	0,26351	231,12	48,836	36,386	60,9	0,36185	326,92	93,934	71,909	118,3
48	0,066	0,252	231,2	46,663	34,887	58,263	0,029248	0,26895	231,08	50,287	36,52	62,149	0,36972	326,88	96,95	72,157	120,86

Tabelle 5: Energieverbrauch Cisco Fabric Extender Nexus 2248TP1GE nach belegten Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit, im Leerlauf

8.1.2 Cisco Fabric Extender Nexus 2248TP1GE, Last [002]

Last	UTRMS1/V	UTRMS2/V	ITRMS1/A	ITRMS2/A	P1/W	P2/W	Q1/var	Q2/var	S1/VA	S2/VA	IPHI1/	IPHI2/	UPHI1/	UPHI2/	AIVA1/V	sum(P)
0	231,219	231,07	2,51E-001	2,68E-001	46,8672	50,1014	34,314	36,5908	58,086	62,0406	36,2099	35,4117	0	-7,30E-001	----	96,9686
10	231,235	231,025	2,51E-001	2,68E-001	46,8675	50,089	34,3383	36,5561	58,1006	62,0101	36,229	35,758	0	-3,65E-001	----	96,9565
20	231,2	231,028	2,51E-001	2,69E-001	46,8932	50,2082	34,3034	36,5725	58,1007	62,1161	36,1863	35,7055	0	-3,65E-001	----	97,1014
30	231,228	231,034	2,51E-001	2,69E-001	46,8482	50,2123	34,317	36,5753	58,0725	62,1211	36,2233	35,7053	0	-3,65E-001	----	97,0605
40	231,238	231,072	2,51E-001	2,69E-001	46,9021	50,2458	34,3581	36,58	58,1402	62,1509	36,2246	35,6907	0	-3,65E-001	----	97,1479
50	231,239	231,047	2,52E-001	2,69E-001	46,9771	50,1866	34,3664	36,5717	58,2056	62,0982	36,1876	36,0813	0	0	----	97,1637
60	231,223	231,043	2,51E-001	2,69E-001	46,9143	50,2631	34,362	36,5926	58,1524	62,1723	36,2206	35,6907	0	-3,65E-001	----	97,1774
70	231,242	231,045	2,52E-001	2,69E-001	47,0284	50,2116	34,3436	36,5747	58,2336	62,1201	36,1397	35,7053	0	-3,65E-001	----	97,24
80	231,234	231,03	2,52E-001	2,69E-001	47,0142	50,2888	34,3614	36,5745	58,2326	62,1824	36,162	35,6633	0	-3,65E-001	----	97,303
90	231,224	231,039	2,52E-001	2,69E-001	47,058	50,24	34,344	36,588	58,2578	62,1509	36,1228	35,3343	0	-7,30E-001	----	97,298
100	231,242	231,045	2,52E-001	2,69E-001	47,0237	50,3065	34,3535	36,5839	58,2357	62,2023	36,1503	36,0254	0	0	----	97,3302

Tabelle 6: Energieverbrauch Cisco Fabric Extender Nexus 2248TP1GE nach Netzwerklast auf allen Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit

8.1.3 Cisco Catalyst C3560G-48PS-S, Belegung [003]

Anschl.	UTRMS1/V	ITRMS1/A	P1/W	Q1/var	S1/VA	IPHI1/̄s	UPHI1/̄s
0	231,032	3,98E-001	75,1349	53,1379	92,0266	35,2693	0
4	231,002	4,11E-001	78,3068	53,8662	95,0449	34,5236	0
8	230,991	4,26E-001	81,4809	55,1119	98,3691	34,0736	0
12	231,008	4,42E-001	85,0761	56,4629	102,108	33,5712	0
16	230,997	4,57E-001	88,3551	57,6288	105,488	33,114	0
20	230,993	4,72E-001	91,9021	58,6836	109,04	32,56	0
24	231,043	4,87E-001	95,247	60,0368	112,59	32,2244	0
28	230,962	5,02E-001	98,6686	60,7929	115,893	31,6386	0
32	230,965	5,17E-001	102,16	61,8375	119,418	31,1865	0
36	230,964	5,35E-001	106,296	63,0302	123,579	30,6666	0
40	230,926	5,48E-001	109,346	63,731	126,563	30,2352	0
44	230,966	5,64E-001	113,014	64,6307	130,19	29,7644	0
48	230,909	5,78E-001	116,335	65,3585	133,437	29,3279	0

Tabelle 7: Energieverbrauch Cisco C3560G-48-PS-S nach belegten Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit, im Leerlauf

8.1.4 Cisco Catalyst C3560G-48PS-S, Last [004]

Last	UTRMS1/V	ITRMS1/A	P1/W	Q1/var	S1/VA	IPHI1/̄s	UPHI1/̄s
0	230,99	5,78E-001	116,25	65,6381	133,5	29,4504	0
10	230,937	5,83E-001	117,528	65,7744	134,681	29,2336	0
20	230,935	5,89E-001	118,894	66,2292	136,096	29,1197	0
30	230,978	5,92E-001	119,41	66,3984	136,629	29,0764	0
40	230,93	5,96E-001	120,542	66,6267	137,73	28,9305	0
50	230,921	6,00E-001	121,362	66,7141	138,49	28,7981	0
60	230,907	6,04E-001	122,275	66,8889	139,375	28,6803	0
70	230,945	6,07E-001	122,946	67,2094	140,117	28,6636	0
80	230,95	6,11E-001	123,875	67,5309	141,087	28,5972	0
90	230,922	6,12E-001	124,261	67,4644	141,394	28,4986	0
100	230,916	6,15E-001	124,869	67,5802	141,984	28,4226	0

Tabelle 8: Energieverbrauch Cisco C3560G-48-PS-S nach Netzwerklast auf allen Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit

8.1.5 Cisco Catalyst C3560G-48TS-S, Belegung [005]

Anschl.	UTRMS1/V	ITRMS1/A	P1/W	Q1/var	S1/VA	IPHI1/	UPHI1/
0	220,116	3,53E-001	73,1809	26,1921	77,7269	19,6927	0
4	225,784	3,60E-001	76,392	27,5512	81,2085	19,8321	0
8	225,711	3,73E-001	79,4686	27,9313	84,2343	19,3654	0
12	225,784	3,88E-001	82,8673	28,3553	87,5844	18,8898	0
16	225,761	4,02E-001	86,1066	28,768	90,7851	18,4743	0
20	225,365	4,16E-001	89,2485	28,8412	93,7929	17,9085	0
24	225,463	4,30E-001	92,5545	29,1113	97,0247	17,46	0
28	225,347	4,45E-001	95,9279	29,4111	100,335	17,0453	0
32	225,569	4,59E-001	99,2745	29,7821	103,646	16,6991	0
36	224,982	4,74E-001	102,273	30,2734	106,66	16,489	0
40	225,781	4,90E-001	106,128	31,1369	110,602	16,3511	0
44	225,476	5,05E-001	109,295	31,6711	113,791	16,1603	0
48	225,578	5,16E-001	111,958	32,2423	116,508	16,0656	0

Tabelle 9: Energieverbrauch Cisco C3560G-48-TS-S nach belegten Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit, im Leerlauf

8.1.6 Cisco Catalyst C3560G-48TS-S, Last [006]

Last	UTRMS1/V	ITRMS1/A	P1/W	Q1/var	S1/VA	IPHI1/°	UPHI1/°
0	225,409	5,25E-01	113,776	32,4865	118,323	15,9357	0
10	225,493	5,23E-01	113,408	32,3762	117,939	15,9332	0
20	225,671	5,24E-01	113,646	32,4744	118,195	15,9474	0
30	225,552	5,25E-01	113,789	32,4734	118,332	15,9278	0
40	225,493	5,24E-01	113,718	32,4242	118,25	15,9144	0
50	225,688	5,25E-01	113,891	32,492	118,435	15,923	0
60	225,916	5,25E-01	114,151	32,5679	118,706	15,9237	0
70	225,805	5,26E-01	114,326	32,6018	118,884	15,9163	0
80	225,632	5,28E-01	114,494	32,6681	119,063	15,9248	0
90	225,406	5,29E-01	114,592	32,598	119,138	15,8795	0
100	225,718	5,28E-01	114,552	32,5891	119,097	15,8807	0

Tabelle 10: Energieverbrauch Cisco C3560G-48-TS-S nach Netzwerklast auf allen Anschlüssen bei 1 Gbit Verbindungsgeschwindigkeit

8.1.7 Cisco Catalyst C3560G-48TS-S, Energieverbrauch / Paketgröße [007]

Packet Size	UTRMS1/V	ITRMS1/A	P1/W	Q1/var	S1/VA	IPHI1/	UPHI1/
idle	225,476	5,24E-001	113,7	32,4252	118,233	15,9172	0
100	225,133	5,46E-001	118,383	33,1629	122,94	15,6493	0
200	225,134	5,37E-001	116,395	32,8842	120,951	15,7762	0
300	225,13	5,34E-001	115,603	32,7685	120,157	15,8258	0
400	225,363	5,31E-001	115,18	32,6811	119,727	15,8407	0
500	225,014	5,31E-001	115	32,587	119,528	15,8209	0
600	225,12	5,30E-001	114,714	32,5751	119,249	15,8529	0
700	225,125	5,29E-001	114,595	32,5771	119,136	15,8694	0
800	224,968	5,29E-001	114,517	32,4933	119,038	15,8408	0
900	225,399	5,28E-001	114,462	32,5594	119,003	15,8787	0
1000	224,469	5,30E-001	114,403	32,38	118,897	15,8033	0
1100	225,026	5,28E-001	114,337	32,4626	118,856	15,8504	0
1200	224,949	5,31E-001	114,87	32,5454	119,391	15,8187	0
1300	224,869	5,30E-001	114,701	32,4861	119,213	15,8134	0
1400	224,79	5,30E-001	114,631	32,4354	119,131	15,7992	0
1518	224,775	5,30E-001	114,61	32,4462	119,114	15,8068	0

8.1.8 Cisco Nexus 5548P, Belegung [008]

Anschl.	UTRMS1/V	UTRMS2/V	ITRMS1/A	ITRMS2/A	P1/W	P2/W	Q1/var	Q2/var	S1/VA	S2/VA	IPHI1/	IPHI2/	UPHI1/	UPHI2/	AIVA1/V	sum(P1,P2)
6	231,826	231,616	8,27E-001	8,41E-001	174,417	179,159	79,7965	76,625	191,804	194,857	24,5843	143,886	0	120,729	----	353,576
7	231,822	231,602	8,30E-001	8,44E-001	175,058	179,728	79,8787	76,6692	192,421	195,398	24,5271	144,197	0	121,094	----	354,786
8	231,799	231,618	8,33E-001	8,47E-001	175,797	180,487	79,9408	76,7308	193,119	196,12	24,453	143,761	0	120,729	----	356,284
9	231,799	231,621	8,33E-001	8,46E-001	175,715	180,39	79,9092	76,7278	193,031	196,03	24,4545	143,772	0	120,729	----	356,105
10	231,833	231,633	8,38E-001	8,51E-001	176,946	181,622	80,0042	76,779	194,192	197,184	24,3296	143,28	0	120,365	----	358,568
11	231,798	231,632	8,39E-001	8,52E-001	177,211	181,875	79,9484	76,7861	194,411	197,42	24,2824	143,861	0	120,972	----	359,086
12	231,838	231,631	8,42E-001	8,55E-001	177,981	182,615	80,0183	76,7827	195,142	198,1	24,2081	143,17	0	120,365	----	360,596
13	231,815	231,64	8,45E-001	8,59E-001	178,841	183,463	79,9834	76,7881	195,912	198,884	24,0958	143,076	0	120,365	----	362,304
14	231,793	231,631	8,51E-001	8,64E-001	180,24	184,781	79,9728	76,8202	197,185	200,113	23,9269	143,182	0	120,607	----	365,021
15	231,793	231,637	8,52E-001	8,66E-001	180,655	185,253	79,9766	76,8154	197,566	200,547	23,8791	143,616	0	121,094	----	365,908
16	231,806	231,595	8,54E-001	8,67E-001	181,015	185,633	79,9638	76,7811	197,891	200,885	23,8336	143,2	0	120,729	----	366,648
17	231,795	231,612	8,56E-001	8,70E-001	181,672	186,313	79,9526	76,8077	198,487	201,524	23,754	143,498	0	121,094	----	367,985
18	231,8	231,622	8,63E-001	8,76E-001	183,25	187,892	79,982	76,8548	199,944	203,003	23,5795	142,976	0	120,729	----	371,142
19	231,804	231,634	8,66E-001	8,80E-001	184,17	188,75	80,0353	76,8632	200,809	203,8	23,4885	142,887	0	120,729	----	372,92
20	231,802	231,591	8,67E-001	8,81E-001	184,416	188,978	80,0627	76,8517	201,045	204,007	23,4677	142,982	0	120,852	----	373,394
21	231,795	231,628	8,71E-001	8,84E-001	185,281	189,824	80,153	76,9111	201,875	204,813	23,3934	142,786	0	120,729	----	375,105
22	231,815	231,608	8,75E-001	8,88E-001	186,189	190,687	80,1973	76,9136	202,726	205,614	23,303	142,938	0	120,972	----	376,876
23	231,842	231,644	8,75E-001	8,88E-001	186,374	190,858	80,2645	76,9541	202,923	205,788	23,2997	142,324	0	120,365	----	377,232
24	231,781	231,639	8,80E-001	8,93E-001	187,416	191,932	80,2564	76,9775	203,877	206,793	23,1818	142,948	0	121,094	----	379,348
25	231,786	231,627	8,83E-001	8,96E-001	188,176	192,736	80,2861	76,9952	204,588	207,546	23,1057	142,505	0	120,729	----	380,912
26	231,8	231,624	8,88E-001	9,01E-001	189,493	193,982	80,307	76,9763	205,808	208,697	22,9672	142,374	0	120,729	----	383,475
27	231,818	231,61	8,87E-001	9,00E-001	189,219	193,702	80,2631	76,9488	205,538	208,427	22,9857	142,76	0	121,094	----	382,921
28	231,777	231,646	8,92E-001	9,05E-001	190,468	194,934	80,2579	76,9778	206,687	209,583	22,8492	142,278	0	120,729	----	385,402
29	231,799	231,632	8,97E-001	9,11E-001	191,835	196,361	80,2721	76,9545	207,952	210,902	22,7066	142,13	0	120,729	----	388,196
30	231,79	231,621	9,00E-001	9,13E-001	192,612	197,096	80,2475	76,8992	208,66	211,566	22,6179	142,043	0	120,729	----	389,708
31	231,797	231,63	9,03E-001	9,16E-001	193,423	197,792	80,2039	76,9167	209,393	212,221	22,5216	141,979	0	120,729	----	391,215
32	231,818	231,604	9,04E-001	9,18E-001	193,634	198,096	80,2303	76,9098	209,597	212,502	22,5062	141,583	0	120,365	----	391,73
33	231,775	231,592	9,06E-001	9,19E-001	194,011	198,449	80,2001	76,9226	209,934	212,836	22,4592	141,917	0	120,729	----	392,46
34	231,784	231,609	9,09E-001	9,22E-001	194,821	199,252	80,2374	76,9232	210,697	213,585	22,3844	141,474	0	120,365	----	394,073
35	231,8	231,62	9,19E-001	9,32E-001	197,409	201,778	80,3167	76,9643	213,123	215,958	22,1391	141,608	0	120,729	----	399,187
36	231,779	231,598	9,17E-001	9,30E-001	196,733	201,079	80,3083	76,9434	212,493	215,298	22,2057	141,304	0	120,365	----	397,812
37	231,806	231,612	9,20E-001	9,33E-001	197,549	201,878	80,3918	76,96	213,281	216,05	22,1436	141,233	0	120,365	----	399,427
38	231,78	231,632	9,21E-001	9,34E-001	197,796	202,112	80,3892	76,9822	213,508	216,276	22,1181	141,581	0	120,729	----	399,908
39	231,784	231,591	9,31E-001	9,43E-001	200,164	204,469	80,4476	76,9436	215,725	218,467	21,8956	141,351	0	120,729	----	404,633
40	231,786	231,608	9,30E-001	9,43E-001	199,928	204,345	80,4382	77,0069	215,503	218,373	21,9167	141,743	0	121,094	----	404,273

41	231,784	231,586	9,33E-001	9,46E-001	200,731	205,048	80,4329	76,9453	216,246	219,009	21,8359	140,934	0	120,365	----	405,779
42	231,778	231,621	9,36E-001	9,49E-001	201,573	205,895	80,4006	76,9101	217,016	219,79	21,7454	141,577	0	121,094	----	407,468
43	231,824	231,621	9,39E-001	9,52E-001	202,274	206,67	80,4226	76,9267	217,675	220,523	21,6824	141,146	0	120,729	----	408,944
44	231,821	231,596	9,42E-001	9,55E-001	203,132	207,476	80,3615	76,8645	218,451	221,256	21,5843	141,058	0	120,729	----	410,608
45	231,795	231,6	9,44E-001	9,57E-001	203,522	207,86	80,3664	76,8235	218,814	221,602	21,548	140,649	0	120,365	----	411,382
46	231,792	231,62	9,47E-001	9,60E-001	204,296	208,632	80,3179	76,8332	219,518	222,33	21,462	140,947	0	120,729	----	412,928
47	231,791	231,613	9,51E-001	9,64E-001	205,333	209,666	80,2943	76,8035	220,474	223,291	21,3577	140,848	0	120,729	----	414,999
48	231,802	231,604	9,55E-001	9,68E-001	206,262	210,575	80,3444	76,7906	221,357	224,14	21,2822	140,765	0	120,729	----	416,837

8.1.9 Cisco Catalyst C4506-E / Sup7L-E mit 5x WS-X4648-RJ45V+E Modulen, Belegung [009]

Anschl.	UTRMS1/V	ITRMS1/A	P1/W	Q1/var	S1/VA	IPHI1/°
0	224,083	2,29897	467,469	216,475	515,159	24,8478
6	224,18	2,30661	469,365	216,994	517,097	24,8118
12	224,266	2,31605	471,64	217,585	519,411	24,7656
18	223,998	2,32504	473,526	216,817	520,804	24,6019
24	223,855	2,33475	475,574	216,767	522,645	24,5035
30	223,911	2,34216	477,36	217,163	524,435	24,462
36	224,139	2,35094	479,733	217,99	526,938	24,437
42	223,988	2,36052	481,774	217,827	528,729	24,3294
48	224,368	2,36742	483,765	219,355	531,173	24,3911
54	224,24	2,37582	485,956	218,343	532,754	24,1947
60	223,665	2,38774	487,967	217,031	534,055	23,9779
66	223,683	2,3968	490,461	216,512	536,124	23,8189
72	223,699	2,40563	492,464	216,955	538,136	23,7759
78	223,826	2,41213	493,922	218,016	539,899	23,8166
84	224,106	2,42051	496,327	218,893	542,452	23,7987
90	224,155	2,42985	498,517	219,406	544,663	23,7551
96	223,73	2,43985	500,378	218,162	545,869	23,5569
102	224,074	2,44847	502,521	220,174	548,638	23,6601
108	224,033	2,4559	504,236	220,159	550,204	23,587
114	224,056	2,464	506,201	220,332	552,074	23,5218
120	223,55	2,47762	508,585	219,354	553,872	23,3306
126	223,798	2,48335	510,491	219,722	555,769	23,2876

132	224,134	2,49103	512,741	220,956	558,324	23,3127
138	224,255	2,49907	514,738	221,645	560,43	23,2967
144	224,124	2,50974	516,878	221,888	562,492	23,2331
150	223,943	2,51791	518,822	220,841	563,868	23,0574
156	224,29	2,52557	520,973	222,405	566,46	23,1178
162	224,373	2,52894	522,235	221,907	567,426	23,0215
168	224,078	2,53925	524,32	220,992	568,989	22,8546
174	224,263	2,54695	526,514	221,446	571,188	22,8111
180	224,347	2,55692	528,886	222,126	573,638	22,7819
186	224,389	2,56558	530,756	222,969	575,688	22,7872
192	223,96	2,57707	532,791	221,922	577,162	22,6131
198	224,441	2,5823	535,021	222,842	579,574	22,6122
204	224,293	2,59222	537,138	222,554	581,419	22,5058
210	224,015	2,6005	538,64	221,882	582,55	22,3882
216	223,699	2,61132	540,735	220,99	584,15	22,2291
222	223,635	2,61974	542,759	220,564	585,864	22,1156
228	223,652	2,6303	544,91	221,666	588,271	22,1362
234	223,638	2,63932	547,114	221,501	590,251	22,0408
240	223,722	2,64697	549,03	221,922	592,185	22,009

