



AMSTEIN + WALTHERT

Studie zur Stromeffizienz bei Rechenzentren in der Schweiz

Potentialanalyse und Massnahmenkatalog für Effizienzsteigerung IT-Hardware und Infrastruktur



Quelle: Strato

Version 1.0 / 25. Februar 2015



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE



Impressum

Auftraggeber Bundesamt für Energie BFE
Abteilung Energieeffizienz und Erneuerbare Energien
Mühlestrasse 4
3063 Ittigen
Postadresse: 3003 Bern

Herr Dr. Richard Phillips, Ph.D.
Sektion Geräte und Wettbewerbliche Ausschreibungen

Tel: +41 31 323 22 77
Fax: +41 31 323 25 00
mail: richard.phillips@bfe.admin.ch
web: www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer Amstein + Walthert AG
Andreasstrasse 11
8050 Zürich

Tel.: +41 44 305 91 11
Fax: +41 44 305 92 14
mail: ganbayar.puntsagdash@amstein-walthert.ch
web: www.amstein-walthert.ch

Koreferat Adrian Altenburger
Dipl. HLK-Ing. / MAS Arch. ETH / SIA / ASHRAE

Verfasser Ganbayar Puntsagdash
Amstein+Walthert AG, Zürich
Engineering Consultant

Oliver Hass
Amstein+Walthert AG, Zürich
Senior Consultant / Bauherrenberatung

René L Bersier
IBM Schweiz AG, Zürich
Systems Consultant

Marc Zwyygart
In & Out AG, Zürich
IT-Beratung

Philipp Blättler
ABB Schweiz AG, Lenzburg
Sales and Marketing Manager / Low Voltage System

Version Version 1.0 25. Februar 2015

Inhaltsverzeichnis

Glossar	4
1 Management Summary	9
2 Komponenten und deren Stromverbrauch	11
2.1 Energienutzung im Rechenzentrum	11
2.2 Modell Rechenzentrum	12
2.3 Messungen der Komponentengruppen	12
2.4 Plausibilisierung und Verallgemeinerung der Ergebnisse	13
3 Virtualisierung und Konsolidierung	16
3.1 Serverauslastung und Virtualisierung	16
3.2 Stromaufnahme bei Erhöhung der Serverauslastung	17
3.3 Beispielprojekte und deren Energieeinsparung	18
3.3.1 IBM POWER7+ und x86 System	18
3.3.2 Weitere Beispielprojekte	20
4 Speichertechnologien	22
4.1 Stromeinsparung durch Solid State Drive (SSD)	22
4.1.1 Energieeffizientere Speicher-Medien	22
4.1.2 Effiziente Nutzung des Speichers	23
4.1.3 Beispielprojekt SDD und Thin Provisioning	23
4.2 Stromeinsparung durch Flashspeichersysteme	26
4.3 Stromeinsparung beim Backup-Systemen	27
4.3.1 Vor- und Nachteile von disk- und bandbasierten Lösungen	27
4.3.2 Projektbeispiel Backup-System	28
5 Gleichstrom-/Wechselstromtechnik (DC/AC)	31
5.1 Funktionsbeschreibung der energieeffizienten Gleichstromtechnik (DC)	31
5.2 Kalkulation der prozentualen Stromeinsparung	32
5.3 Vergleich der technischen Vor-/Nachteile	35
5.4 Quantitative Ermittlung der Energieeinsparung anhand eines Praxisbeispiels	37
6 Stromeinsparung Gesamtbetrachtung	40
6.1 Kombination der Massnahmen	40
6.2 Rechenbeispiel für Gesamteinsparung	42
6.3 Zusätzliche Möglichkeiten zur energetischen Optimierung	43
7 Kühltechnik und Abwärmenutzung	46
7.1 Kühltechnik zur Energieaufnahme und Energietransport	46
7.1.1 Wärmeübergang und Wärmetransport	46
7.1.2 Varianten der Hardware-Kühltechnik	48
7.1.3 Vergleich von Luft- und Wasserkühlung (Parameter / Kosten)	50
7.1.4 Beispiel SuperMUC	52
7.1.5 Vor- und Nachteile der verschiedenen Kühltechnologien	53
7.2 Energienutzung der Abwärme	54
8 Zusammenfassung und Massnahmenkatalog für Hardware im Rechenzentrum	56
Literaturverzeichnis	58
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	59
Abbildungsverzeichnis	59
Tabellenverzeichnis	60

Glossar

Begriffe

Begriff	Erklärung
Anwender-PC	Büroarbeitsplatz-Computer
Bandlast	zeitlich und mengenmässig über den Tages- bzw. Jahresverlauf annähernd konstanter Energiebedarf bzw. Energieüberschuss (z.B. Abwärme)
Betriebssystem	Gesamtheit der Programme, die für den korrekten Ablauf einer Rechenanlage und eines Rechnernetzes erforderlich sind sowie alle Programme, die die Programmerstellung unterstützen.
Betriebssystem-Virtualisierung	Virtualisierungstechnologie, bei der eine komplette Laufzeitumgebung innerhalb eines geschlossenen Containers virtuell bereitgestellt wird.
Blade-Server-Technologie	Verwendung von hochkompakten Servern, welche in ein modulares Schranksystem (Chassis) innerhalb eines Racks eingesetzt werden.
Blockstorage	Blockbasierter Storage, z.B. VSP von HDS, VMAX von EMC oder DS8000 von IBM
Build	Ein Build bezeichnet eine Ausprägung eines Releases zu einem bestimmten Zeitpunkt.
Client	Arbeitsplatzrechner (z.B. Desktop, Notebook, Thin Client) mit beliebigem Betriebssystem (z.B. Windows PC, Mac, Linux-Workstation), der an ein Netzwerk angebunden ist und mit Diensten von anderen Systemen (Server) kommuniziert
Cloud	Daten oder/und Applikationen sind auf einem oder mehreren physikalischen Server ausserhalb verlagert. Die physikalische Server werden von einer andere Firma gehostet. "Cloud" ist ein über Begriff von "Cloud Storage" und "Cloud Computing".
Core	Rechen- oder Prozessorkern
Data Center oder Datacenter	siehe Rechenzentrum
Datenbank	Eine Datenbank ist die elektronische Form einer geordneten Sammlung von Daten, die aus der Sicht des Benutzers zusammengehören. Es gibt hierarchische, relationale, multidimensionale und objektorientierte Datenbanken.
Datenblock	Eine begrenzte Anzahl von Bits oder Bytes, die als Transporteinheit behandelt wird.
Datendurchsatz	Die Datenmenge pro Zeit
DMZ (Demilitarized Zone)	Netzwerkzone, in denen Systeme betrieben werden, auf die sowohl von extern, also aus dem Internet, wie auch von intern zugegriffen wird. Die DMZ ist zum Internet und zum Intranet hin mit Sicherheitskomponenten (z.B. Firewalls) gesichert.
FC-Switches	Netzwerkinfrastrukturkomponente im SAN
Festplattenlaufwerk	Oft auch als Festplatte oder hard disk drive = HDD bezeichnet, ist ein magnetisches Speichermedium, bei welchem Daten auf die Oberfläche im Platteninneren rotierender Scheiben geschrieben werden.
Filer	Dateibasierte Datenablage, deren bekannteste Vertreter die Produkte von Netapp sind
Hardware Emulation	Virtualisierungstechnologie, bei der die virtuelle Maschine die komplette Hardware simuliert und den Betrieb eines nichtmodifizierten Betriebssystems ermöglicht.
Hardware Plattform	Kombination von Hardware, die benötigt wird, um Software-Plattformen und Applikationen zu betreiben.
Hardware Virtualisierung	Virtualisierungstechnologie, bei der die virtuelle Maschine dem Gastbetriebssystem nur Teilbereiche der physischen Hardware in Form von virtueller Hardware zur Verfügung stellt.
Hypervisor	Abstrahierende Schicht zwischen Hardware und (verschiedenen) Betriebssystemen
I/O-Adapter	Netzwerkkarten zur Anbindung an LAN, SAN

Information Management System	Management System zur Verwaltung von Informationen
Infrastruktur-Leistung	Elektrische Leistung in den Rechenzentren, die für Beleuchtung, Klimatisierung und USV gebraucht werden sowie Verlustleistungen bei der Stromverteilungs- und umwandlungsebene.
Instanz	Eine Instanz ist ein lauffähiger Build einer Applikation und allfälliger dazu benötigter Parametrierungs- und Datenbuilds.
IT-Leistung	Elektrische Leistung in den Rechenzentren, die für Server, Cluster, Storage, Backup und Kommunikation gebraucht werden.
IT Service	Definierte Leistung und Funktion zur Unterstützung von Business Prozessen und besteht aus einer Kombination von Applikationen, Plattformen, IT-Prozessen und Personen
Komponente	Identifizierter Bestandteil einer Applikation oder der Plattform. Plattform-Komponenten können unabhängig von anderen Plattform Komponenten installiert werden
Konvergierter Netzwerkadapter	Netzwerkkarte (im Server), die in der Lage ist, mehrere Netzwerkprotokolle zu übertragen
Laufzeitumgebung	Softwarebasierte Systemumgebung, welche sämtliche notwendigen Komponenten beinhaltet, sodass es auf einem physischen oder virtuellen Server betreibbar und zwischen beiden verschiebbar ist.
LifeCycle-Management	Prozesse zur regelmässigen Erneuerung von IT-Systemen aufgrund ihres Alters. In der Schweiz erfolgt diese Erneuerung (aus eigenen Erfahrungen) ca. alle 5 Jahre
Mainframe	Ein Mainframe ist ein hochgradig redundantes und robustes Computersystem für höchste Rechenkapazitäten.
Migration	Umzug eines physischen oder virtuellen Servers an einen anderen Ort, resp. auf einen anderen Server.
NAND-Flash	NAND-Flash bezeichnet einen Typ von Flash-Speicher, der in der sogenannten NAND-Technik gefertigt ist. Der Ausdruck „NAND-Technik“ bezieht sich dabei auf die serielle Anordnung der einzelnen Speicherzellen.
Nearline	Kostengünstige 3,5-Zoll-HDD mit grosser Speicherkapazität für skalierbare Speicher.
Performance	Die Performance gibt Auskunft über Nutzung und Leistungsfähigkeit eines Service, einer bestimmten Hardware oder eine Kombination davon. Dies beinhaltet z.B. den Status der Auslastung, den Durchsatz, die Antwortzeiten und die Mengen.
Performancetest	Prüfen des Zeitverhaltens eines Testgegenstands, Antwort- und Bearbeitungszeiten sowie Durchsatz.
Plattform	Kombination von Hard- oder Software, die benötigt wird, um die Applikationen betreiben zu können. Es wird zwischen Software- und Hardware-Plattformen unterschieden.
Power	Prozessortechnologie
Rechenzentrum	Gebäude oder Räumlichkeiten, in denen die zentrale Rechentechnik unterbracht sind und in denen sicherere Stromversorgung und Klimatisierung vorhanden sind. z.B. „Rechenzentren“ ohne Klimatisierung werden innerhalb der Studie nicht als Rechenzentren betrachtet.
Release	Bezeichnet einen vordefinierten funktionalen Umfang einer Applikation, einer Software Plattform oder einer Hardware-Plattform
SAN-Systeme	An das SAN angeschlossene IT-Komponenten, z. B. zur Datenablage oder für Backup. Vgl. Blockstorage
Server	Physikalisches Server
Software-Plattform	Besteht aus Betriebssystem, Datenbanksystem, Applikationsserver (Middleware) und Systemmanagementserver, welche einen oder mehrere IT Services oder Applikationen unterstützt
Speicher-Kapazität	Die maximale Datenmenge, die in einer Datenstruktur oder in einem Datenspeicher gespeichert werden kann, ausgedrückt in Giga Byte (GB). Ein GB entspricht einer Milliarde Bytes und ein Terra Byte (TB) entspricht 1.000 GB (eine Billion Bytes).
Speicher-Medien	Ein Speichermedium dient zur Speicherung von Daten, wird auch als Synonym für einen konkreten Datenträger verwendet.
Storage	In RZ gelagerte Daten. In dieser Studie wird auf den deutschen Begriff

	„Speicher“ in diesem Zusammenhang verzichtet, um z.B. die Verwechslung mit Arbeitsspeicher (RAM) zu vermeiden. Jedoch wenn es von Kontext eindeutig klar ist, wird das Wort „Speicher“ verwendet.
Storage-TIER	Tiered Storage, Speichersysteme verschiedener Preis- und Geschwindigkeitsklassen
Strukturierte Daten	Durch Applikationen oder von Datenbanken verwaltete Daten
Transportmedium	Medium für den Wärmetransport von der Wärmequelle zum Nutzungsort (z.B. Wasser oder Luft)
Umgebung	Eine Umgebung besteht aus allen für einen bestimmten Zweck notwendigen Instanzen. Es gibt verschiedene Typen von Umgebungen: Beispiele sind Entwicklung, Integration, Produktion, Schulung.
Unstrukturierte Daten	Vorwiegend Benutzerdaten auf Filern
Upgrade	Bei einer Weiterentwicklung entsteht ein Upgrade, der eine quantitative oder qualitative Erweiterung (z.B. erweiterter Funktionsumfang) oder Erneuerung einer Software oder Hardware umfasst. Ein Upgrade kann auch eine Erweiterungs- oder Umbaumassnahme sein, die ein vorhandenes System schneller oder leistungsfähiger macht.
Verfügbarkeit	Eigenschaft eines Service oder einer Einzelkomponente, die geforderte/vereinbarte Funktionalität zu einem bestimmten Zeitpunkt oder während einer definierten Periode zu erfüllen.
Wartungsfenster	Das Wartungsfenster ist die Zeitperiode, in der Systeme für Wartungsarbeiten zugänglich sind.
x86	Prozessorenteknologie
Server	Physikalischer Rechner

Abkürzungen

Abkürzung	Erklärung
AIX	Advanced Interactive eXecutive
AME	Active Memory Expansion
CD	Compact Disk
CNA	Converged Network Adapter
CPU	Central Processing Unit
DB	Datenbank, siehe auch RDBMS
DAS	Direct Attached Storage
DC	Gleichstrom / Direct Current
DLPAR	Dynamische logische Partitionen
DWH	Data Warehouse
DVD	Digital Versatile Disk
Entw.	Entwicklungsumgebung
FC	Fibre Channel
FCP	Fibre Channel Protokoll
GB	Giga Byte
GC	Grid Control
HDD	Hard Disk Drive
HDS	Hitachi Data Systems
IBM	International Business Machines
I/O	Input / Output
IMS	Information Management System
Int.	Integrationsumgebung
IT	Informationstechnologie / Information Technology
JBOD	Just a Bunch Of Disks
LAN	Local Area Network
LDAP	Lightweight Directory Access Protocol
LPAR	Logische Partitionen
LTO-6	Linear Tape Open - 6. Generation
MAN	Metropolitan Area Network
Mig.	Migrationsumgebung
ODI	Oracle Data Integrator
OID	Oracle Internet Directory (siehe LDAP)
OMS	Output Management System
OWB	Oracle Warehouse Builder
PB	Peta Byte
Phys.	Physischer Server
POWER	Performance Optimized With Enhanced RISC
Prod.	Produktionsumgebung
PT	Personentage
PUE	Power Usage Effectiveness
RAM	Random Access Memory
RDBMS	Relational Database Management System
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RPM	Rounds Per Minute
RZ	Rechenzentrum / Data Center
SAN	Storage Attached Network

SAS	Serial Attached SCSI
SSD	Solid State Drive
SYS	System
TB	Terra Byte
TSM	Tivoli Storage Manager
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
U/min	Umdrehungen pro Minute
Virt	Virtueller Server
VSP	Virtual Storage Plattform
WAN	Wide Area Network
WLS	WebLogic Server

Einheiten

Physikalische Einheiten

Für die physikalischen Einheiten wird das SI-System mit Dezimal-Präfixen verwendet. Die wichtigsten Einheiten sind der nachfolgenden Übersicht ersichtlich:

Bezeichnung	Einheit	
Energie (E), Arbeit (W), Wärmemenge (Q)	J Wh (kWh , MWh ...)	In Watt*Stunde [Wh] und nicht in Watt*Sekunde [Ws]
Temperatur (θ)	$^{\circ}C$	Für die absolute Temperatur wird Grad Celsius verwendet. Die Temperaturdifferenz weiterhin in Kelvin [K]
Spezifische Wärmekapazität (c)	$kJ/(kg*K)$	
Dichte (ρ)	kg/m^3	
Wärmeleitfähigkeit (λ)	$W/(m*K)$	
Wärmeübergangskoeffizient (α_K)	$W/(m^2*K)$	
Nusselt-Zahl (Nu)	-	Die Nusselt-Zahl beschreibt die Wärmeübertragung an strömende Fluide.

IT-Einheiten

Für IT-Einheiten werden die fachüblichen Einheiten verwendet.

Finanzeinheiten

Währungen werden in **Schweizer Franken (CHF)** zu dem ungefähren Kurs der damaligen Zeit umgerechnet.

Abgrenzungen

Aufgrund der zur Verfügung stehend Zeit wurden keine detaillierten Berechnungen durchgeführt.

Die Resultate basieren auf Erfahrungswerten (z.B. beim Virtualisierungsgrad) und erheben keinen Anspruch auf Absolutheit. Ebenso basieren Vorschläge auf Erfahrungen, welche nicht zwingend verallgemeinert werden können. Diese wurden nicht dahingehend untersucht, ob sie schon in anderen Studien formuliert oder untersucht wurden.

1 Management Summary

Im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) und dem Schweizerischen Verband der Telekommunikation (ASUT) wurde die Studie zur Einschätzung des gesamten Stromverbrauchs in den schweizerischen Rechenzentren [1] durch ISWB und der Amstein + Walthert AG im Jahr 2014 durchgeführt. In der Studie wurden Massnahmen für Effizienzsteigerung in Bereich Infrastruktur und das daraus folgende Potenzial für die Einsparung von elektrischer Energie untersucht.

Aufbauend auf die vorhergehende Studie wurde in der aktuellen Studie das Effizienzsteigerungspotenzial im Bereich IT-Hardware bzw. IT-Leistung detaillierter untersucht. Die Studie wurde im Auftrag des BFE durch Amstein + Walthert AG in Zusammenarbeit mit ABB, IBM sowie In&Out durchgeführt.

Die Effizienz wurde auf den Verbrauch der elektrischen Energie für Rechen- und Speichervorgänge bezogen. Der Fokus lag in der Verbesserung der Effizienz der Server durch Erhöhung Auslastung der Prozessoren und Verbesserung der Speichermanagementssysteme sowie dem Umsteigen auf Flash-Speichertechnologien. Das Vorgehen der Studie ist wie folgt aufgebaut:

- Annahme eines Modelrechenzentrums durch Messung und Plausibilisierung
- Potentialanalyse und Erstellung eines Massnahmenkatalogs innerhalb einer Komponente basierend auf realisierten Projekte
- Wirtschaftlichkeitsanalyse der einzelnen Massnahmen
- Evaluation der Ergebnisse und Gesamtbetrachtung des Rechenzentrums

Die realisierten Projekte haben gezeigt, dass im Idealfall eine Reduktion des Verbrauchs der elektrischen Energie jeweils innerhalb der Komponente wie folgt möglich ist:

- Stromeinsparung im Server durch Virtualisierung und Konsolidierung bis zu **96%**
- Stromeinsparung im Storage durch Deduplikation, Thin Provisioning und Umsteigen von HDD- auf Flash-Speichertechnologien bis zu **90%**
- Stromeinsparung im Backup durch Umsteigen von diskbasieren Backup-Systemen auf bandbasierte Systeme bis zu **94%**.

Bei der Gesamtbetrachtung und Analyse hat sich ergeben, dass durch Kombination der einzelnen Massnahmen eine Stromeinsparung bis zu **50%** im Bereich der IT-Hardware realistisch ist. Die Reduktion der IT-Leistung verursacht als Nebeneffekt eine Reduktion der elektrischen Leistung im Bereich der Stromumwandlung und Kühlung ebenfalls bis zu **50%**.

Im Weiteren wurden neue Technologien für die Kühlung und Stromumwandlung untersucht. Die Datenerhebungen der folgenden Technologien wurden in den Pilotprojekten durchgeführt und analysiert:

- Verteilung der elektrischen Energie im Rechenzentrum durch Gleichstromtechnologie (DC - Datacenter)
- Kühlung der Rechenkomponenten mit Flüssigmedien durch Direktkühlung (Direct Cooling)

Beim dem ersten realisierten Gleichstrom-Rechenzentrum wurde gezeigt, dass es im Vergleich zum konventionellen Wechselstrom-Rechenzentrum bis zu **17%** effizienter bei der Stromumwandlung sein kann.

Durch Direktkühlung der Rechenzentren kann, im Vergleich zur herkömmlichen Luftkühlung, die gesamte Energieaufnahme um bis zu **40%** reduziert werden. Durch Hochtemperaturkühlung (56°C im Vorlauf des Kühlkreislaufts) entfallen teilweise die Kältemaschinen zur Kühlung und die Energierückgewinnung kann mit bis zu **84%** erfolgen.

Fazit

Von den untersuchten Massnahmen wird das Potenzial bei der Reduktion der physikalischen Server durch Virtualisierung und Konsolidierung am höchsten bewertet. Die Umsetzung bedingt strategische und technische Entscheidungen auf der Architektur- und Design-Ebene, wo der Energieverbrauch nicht auf einer hohen Prioritätsebene steht.

Eine Stromeinsparung durch intelligente Speichermanagement-Systeme und eine Kombination der herkömmlichen HDD und SSD oder ein kompletter Umstieg auf Flashtechnologien, getrieben durch den Datenzuwachs und einen hohen Bedarf von Performance, gehören bereits zum allgemeinen Trend bei den RZ-Betreibern.

Die sehr kostengünstigen und effizienten Backuplösungen mit bandbasierten Systemen haben grosses Potential bei den Unternehmen, die nicht permanente Abrufbarkeit von Backup-Daten benötigen.

Eine konsequente Verwendung der Gleichstromtechnologie im Rechenzentrum ist wirtschaftlicher und effizienter, als die konventionelle Wechselstromtechnologie. Es fehlt jedoch an technischen Standards der Komponenten und Schnittstellen, welche aktuell in der Entwicklung sind. Es wird erwartet, dass in der nahen Zukunft die Produkte eine Marktreife erreichen.

Die direktkühlten Rechenzentren sind ebenfalls in der Pilotphase und weisen für die Zukunft ein grosses Potential auf. Bei der Massnahme handelt es sich um die Installation von komplett neuen Hardwarekomponenten und die dazugehörige Infrastruktur, welche aufgrund der Komplexität nur für neue Rechenzentren in Frage kommt. Idealerweise werden die direktgekühlten Rechenzentren unmittelbar mit einem Wärmeverbraucher für die zurückgewonnene Energie kombiniert.

2 Komponenten und deren Stromverbrauch

2.1 Energienutzung im Rechenzentrum

Nachfolgende Grafik stellt Anhand eines Servers und der effektiv verwendeten Energie zur Ausführung einer Berechnung die grosse Differenz zwischen effektiv genutzter und in ein Rechenzentrum eingespeister Energie dar. So wird zur Ausführung einer Anwendung als Beispiel 1 Watt an Rechenleistung benötigt. Um dieses Watt zur Verfügung zu stellen, nimmt das Rechenzentrum trotz eines relativ guten PUE-Faktors von 1.8 das 29-fache an Energie auf (24 Watt). Im Beispiel wurde die Serverauslastung mit 20% angenommen. Aktuell werden jedoch noch immer eine Vielzahl von Systemen mit einer tiefen durchschnittlichen Auslastung von nur rund 5% betrieben, was einen Faktor von aufgenommener zu effektiv in Rechenleistung verwendeter Energie von ca. 100:1 ergibt. Eine Gesamtenergieeffizienz eines typischen Rechenzentrums von 1%.

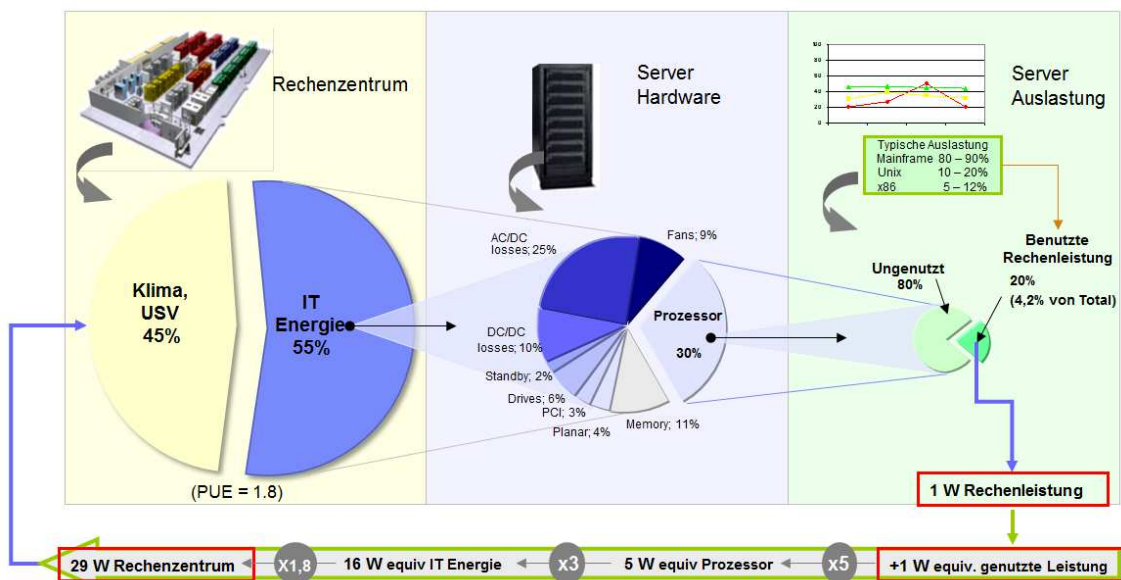


Abbildung 1: Gesamtenergieeffizienz eines herkömmlichen Rechenzentrums (Quelle: IBM / bearbeitet)

Aus obiger Darstellung wird ersichtlich, dass ein optimierter PUE-Faktor nur ein kleiner Teil der Gesamteffizienz eines Rechenzentrums darstellt, wo PUE-Wert 1.8 beträgt, was gesamtschweizerischen Durchschnitt entspricht [1]. So kann durch bessere Ausnutzung vorhandener IT Kapazität in Form von Rechenleistung und Speicherplatz die Effizienz eines Rechenzentrums oft um Faktoren erhöht werden – trotz gleichem PUE-Faktor.

Ein hochmodernes, effizientes Rechenzentrum mit einem PUE-Faktor von 1.2 und einer RZ-Energieaufnahme von 2'000 kW kann als Gesamtsystem zur Erzeugung einer gewünschten Rechenleistung daher markant ineffizienter sein, als der Betrieb eines alten, nicht optimierten Rechenzentrums mit PUE-Faktor von 2.0 aber intelligenterer IT Systemauswahl und einer dadurch reduzierten RZ-Energieaufnahme von total 400 kW. Die Gesamteffizienz eines Rechenzentrums in Form von erbrachter Rechenleistung zu aufgenommener Energie ist direkt abhängig von der gewählten Systemarchitektur der IT Systeme. Zwar haben die Wahl der Klimatisierung, der USV Anlage oder der LED Beleuchtung auch ihren Einfluss auf die Energieeffizienz, die gewählte IT-Architektur ist jedoch absolut zentral.

Grundsatz: Steigt die Energieaufnahme der IT Geräte, muss das Rechenzentrum diese Energie zur Verfügung stellen. Die vermiedene, nicht installierte IT Komponente im Rechenzentrum ist die aus Energiesicht effizienteste Komponente – sie muss weder gekühlt noch installiert, betrieben oder nach Jahren wieder ersetzt werden.

2.2 Modell Rechenzentrum

Die in einem Rechenzentrum für den gesamten Betrieb benötigte Energie wird für verschiedenste Komponenten verwendet. So wie wir im Unterkapitel davor gesehen haben kann die Aufteilung und Gruppierung der Komponenten je nach Gebrauch und Art der Aussage von grob bis sehr detailliert gemacht werden. Das für die Studie angenommene Modell für Rechenzentrum ist in der Abbildung 2 dargestellt.

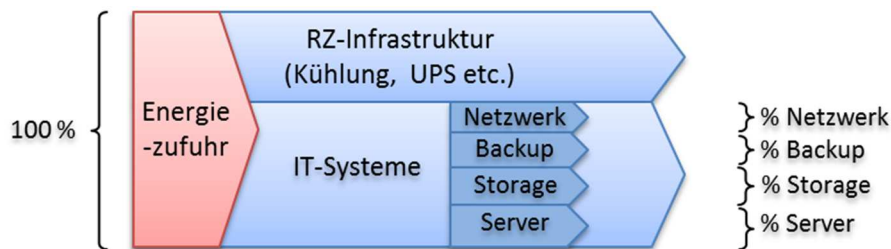


Abbildung 2: Modell Energieaufteilung im RZ (Quelle: In&Out)

Die gesamte Energiezufuhr (100%) bezieht sich auf elektrische Energie (Strom). Ein Teil davon wird für die IT-Rechenleistung und ein Teil dafür notwendige Infrastruktur verwendet. Power Usage Effectiveness (PUE) Faktor zeigt das Verhältnis zwischen Energiebedarf für Infrastruktur und IT-Rechenleistung auf. Wie schon erwähnt wird in dieser Studie vor allem auf IT-seitigem Einsparpotential fokussiert.

Die einzelnen Komponenten der IT-Systeme im Rechenzentrum werden wie folgt aufgeteilt:

- Netzwerk: Netzwerkkomponenten im Netzwerk-Rack und im Server-Rack
- Backup: Speichersysteme im Backup-Rack
- Storage: Speichersysteme im Storage-Rack
- Server : Hardware im Server-Rack mit Ausnahme der Netzwerkkomponenten.

2.3 Messungen der Komponentengruppen

Die erste Fragestellung der Studie ist die prozentuale Zuordnung des Energieverbrauchs auf definierten vier Komponentengruppen. Für diesen Zweck wurde eine Referenzmessung bei einem mittelgrossen "typischen" Rechenzentrum im einem Unternehmen durch Firma In&Out durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Messung waren 52 physische Server mit insgesamt 381 virtuellen Servern aktiv. Um eine Durchschnittsleistung zu ermitteln wurden die Messergebnisse unter Berücksichtigung des Messzeitpunkts (Wochentag, Zeit, Aktivität) plausibilisiert.

Kategorie	Effektive Leistung [kW]
Server	10.2
Netzwerk	7.2
Storage	5.3
Backup	2.6
Gesamtleistungsbedarf	25.2

Tabelle 1: Plausibilisierte Messwerte Leistungsbedarf (Quelle: In&Out)

Die Ergebnisse der Messungen sind in der Tabelle 1 aufgelistet. Die Gesamte Durchschnittsleistung beträgt 25.2 kW, davon wird 10.2 kW für Server-Racks, 7.2 kW für Netzwerk-Racks, 5.3 kW für Storage-Racks und 2.6 kW für Backup-Racks verbraucht.

Kategorie	Energieverbrauch in einer Stunde [kWh]	Energieverbrauch in einem Jahr [kWh]	Anteil [%]
Server	10.2	89'137	40
Netzwerk	7.2	62'842	29
Storage	5.3	45'998	21
Backup	2.6	22'776	10
Gesamtleistungsbedarf	25.2	220'752	100

Tabelle 2: Jahresenergieverbrauch und prozentuale Aufteilung IT-Leistung (Quelle: In&Out)

Die prozentuale Aufteilung innerhalb der IT-Leistung und Schätzungen für Jahresverbrauch sind in der Tabelle 2 aufgelistet. Dabei wurde ein "flacher" Bandlastverlauf angenommen. In der Abbildung 3 ist das Verhältnis der Verbräuche der einzelnen Komponentengruppen klar ersichtlich.

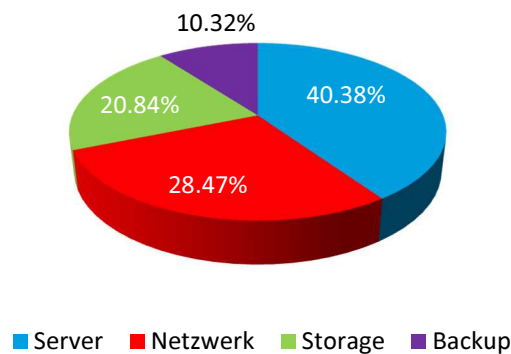


Abbildung 3: Prozentuale Aufteilung der elektrischen Energie IT-Leistung

2.4 Plausibilisierung und Verallgemeinerung der Ergebnisse

Aufgrund des relativ hohen Bedarfs an Netzwerkkomponenten fällt der prozentuale Energiebedarf in diesem Bereich verhältnismässig hoch aus (Abbildung 3). Durch einen Vergleich mit Erfahrungswerten würde der Energiebedarf für Netzwerkkomponenten nach unten plausibilisiert. Durch diese Plausibilisierung ändern sich die Verhältnisse, die in der Abbildung 4 dargestellt ist.

Nach einer Expertenmeinung von IBM und In&Out kann die in der Abbildung 4 hergeleitete Aufteilung als gute Referenz für ein mittleres Beispielrechenzentrum angenommen werden und wird in dieser Studie als Basis für die weiteren Berechnungen verwenden.

Aus den Daten sehen wir, dass elektrische Energie überwiegend durch Server und Storage, mit einem Anteil von mehr als 72%, aufgenommen wird. Eine Effizienzsteigerung bei diesen Komponenten kann auf den gesamten absoluten Energieverbrauch somit grosse Auswirkungen haben.

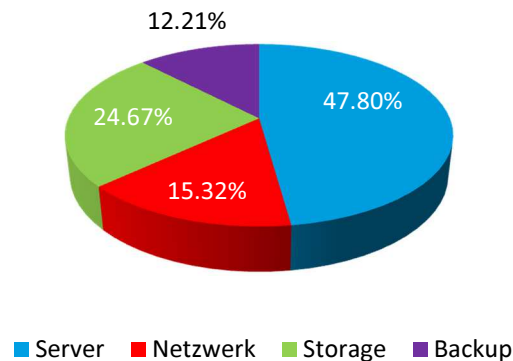


Abbildung 4: Plausibilisierung. Prozentuale Aufteilung der elektrischen Energie IT-Leistung

Bei einem Rechenzentrum mit insgesamt 381 virtuellen Servern auf 52 physischen Servern (Virtualisierungsgrad von ca. 7 virtuelle Server auf 1 physischen Server) wird IT-seitig 47.80% der elektrischen Energie für Server, 24.67% für Storage, 15.32% für Netzwerk und 12.21% für Backup gebraucht.

Die prozentuale Verteilung kann je nach Virtualisierungsgrad und Speicherbedarf variieren. Bei einem schlechteren Virtualisierungsgrad mit 2 virtuellen Servern auf einem physischen Server wird beispielsweise sowohl der absolute Gesamtenergiebedarf, als auch der prozentuale Bedarf von Server-Racks steigen.

Für die Verallgemeinerung der Ergebnisse treffen wir folgende Annahmen:

- Der Strombedarf von Storage und Backup bleiben, wie im gemessenen Fall, gleich
- Im Fall der Senkung des Strombedarfs der Server verhält sich der Strombedarf vom Netzwerk analog zum Strombedarf der Server (vgl. Tabelle 5)
- Anzahl der virtuellen Server bleibt, wie im gemessenen Fall, gleich
- Bei einer Steigung der Anzahl der physischen Server steigt der Strombedarf der Server-Racks linear

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Schätzungen für Rechenzentren mit verschiedenen Virtualisierungsgraden dargestellt. Bei den Diagrammen handelt es sich nur um das prozentuale Verhältnis des Stromverbrauchs und die absolute Grösse (resp. Grösse der Kreise) ist irrelevant.

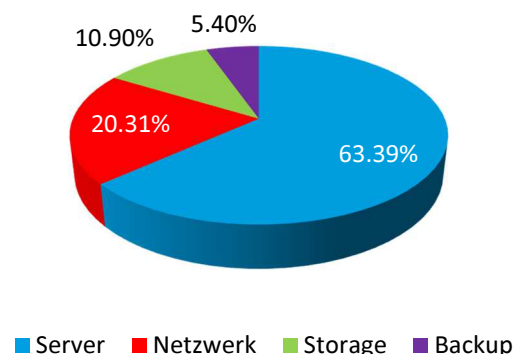
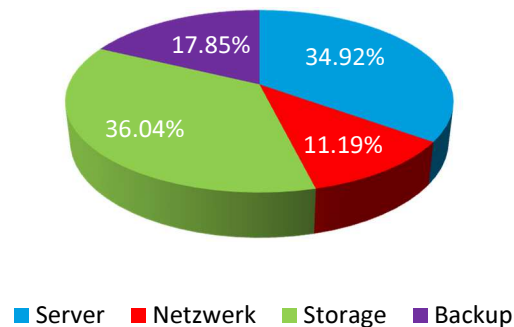
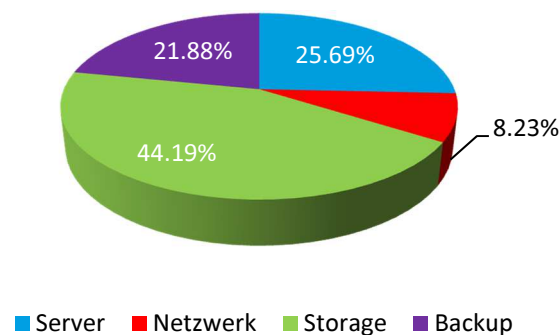


Abbildung 5: Prozentuale Aufteilung der elektrischen Energie IT-Leistung
2 virtuelle/1 physische Server



**Abbildung 6: Prozentuale Aufteilung der elektrischen Energie IT-Leistung
12 virtuelle/1 physische Server**



**Abbildung 7: Prozentuale Aufteilung der elektrischen Energie IT-Leistung
20 virtuelle/1 physische Server**

Um eine allgemeine Aussagen zu treffen werden in dieser Studie die Werte von dem Referenzrechenzentrum (Abbildung 4) angewendet, bei welchem ein mittlerer Virtualisierungsgrad von ca. 7 virtuellen Servern auf 1 physischen Server vorhanden ist.

In den vorhergehenden drei Diagrammen (Abbildung 5 bis Abbildung 7) sehen wir, dass je nach Virtualisierungsgrad das prozentuale Verhältnis der Energieaufnahmen der Komponenten sehr variieren kann. In den Rechenzentren mit einem hohen Virtualisierungsgrad (Abbildung 6 und Abbildung 7) sinkt auch der absolute Energiebedarf bei den Netzwerken, weil durch die Reduktionen der Anzahl für physische Server auch der Netzwerkbedarf proportional linear sinkt. Zu diesem Phänomen wurden Praxisbeispiele in der Tabelle 5 dargestellt.

3 Virtualisierung und Konsolidierung

3.1 Serverauslastung und Virtualisierung

Durch Virtualisierung werden Server im Rechenzentrum höher ausgelastet. Dadurch können neu zu installierende Server vermieden bzw. bestehende überflüssig werden. So fällt bereits bei der Quelle des Energieverbrauchs im Rechenzentrum weniger Bedarf an, was in der Folge im gesamten Rechenzentrum teilweise markante Energieeinsparungen ermöglicht. Die Auslastung installierter Server im Rechenzentrum zeigt typischerweise sehr unterschiedliche Server Auslastungswerte, mit einem Grossteil der Server (>50%) bei einer durchschnittlichen Auslastung von <5%.

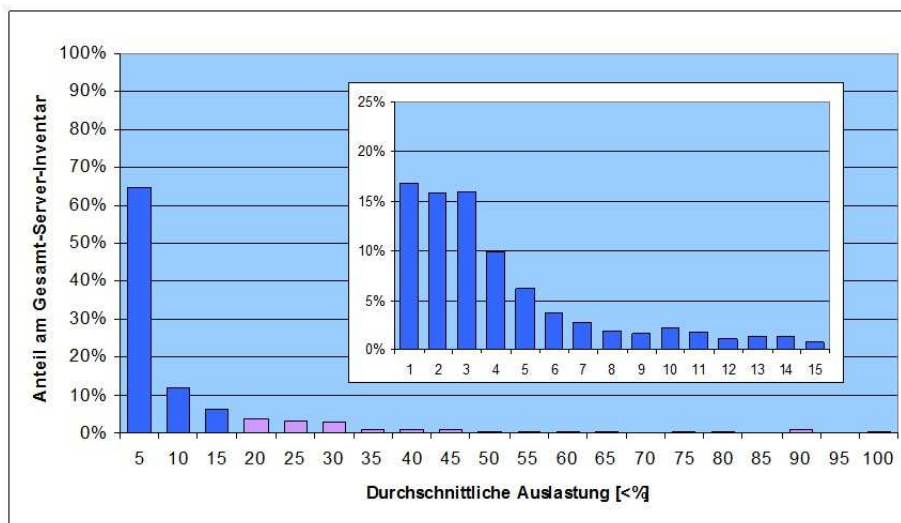


Abbildung 8: Auslastungswerte der Server in einem herkömmlichen Rechenzentrum (Quelle: IBM)

Folgende Grafik zeigt die Zusammenfassung der Auslastungskurven mehrerer Server in eine Summenkurve einer entsprechenden virtualisierten Umgebung. Die Mögliche Reduktion der IT Gesamtleistung bei gleichbleibender Anwendungsleistung ergibt sich aufgrund der besseren Auslastung des virtualisierten Servers.

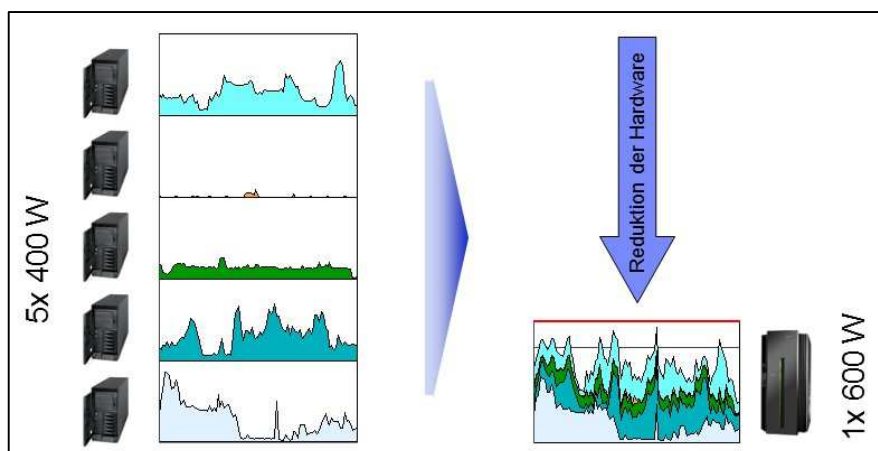


Abbildung 9: Auslastungsdiagramme mehrerer Server in einem herkömmlichen Rechenzentrum (Quelle: IBM)

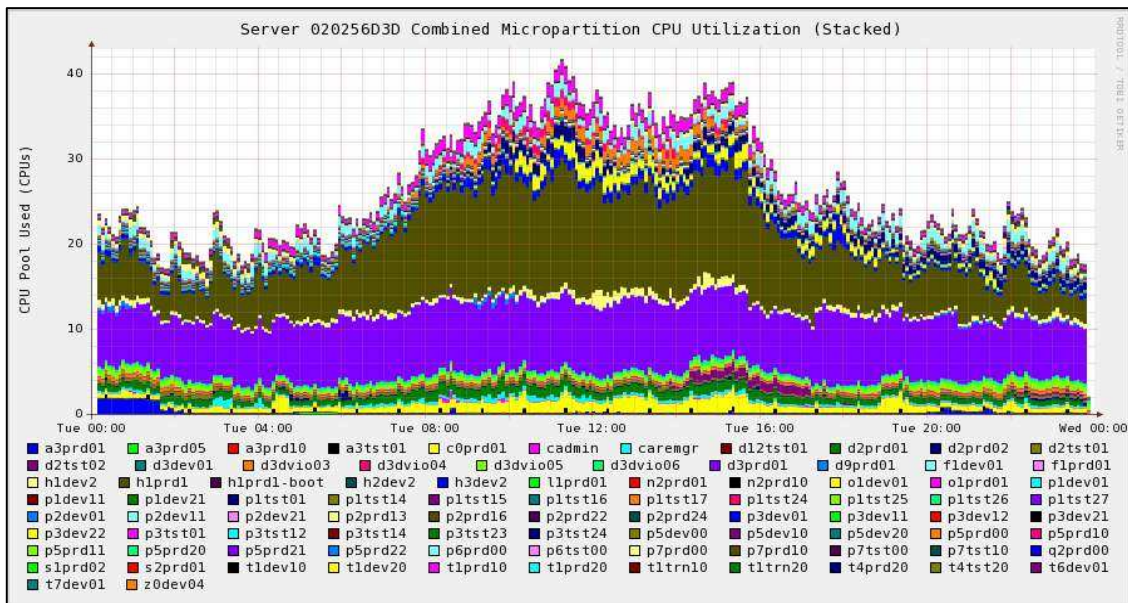


Abbildung 10: Auslastungskurven eines virtualisierten Servers (Quelle: IBM)

Je nach Virtualisierungstechnologie der Hersteller ergeben sich grosse Unterschiede bzgl. der Machbarkeit einer Reduktion des Energiebedarfs im Rechenzentrum. Eine konsequente und optimiert virtualisierte Umgebung kann die benötigten Ressourcen massiv reduzieren, bei gleichzeitiger Reduktion des Betriebsaufwandes. Können auch grösste produktive Systeme neben vielen kleineren virtualisiert auf der gleichen Hardware betrieben werden wie im obigen Beispiel, steigert dies die Effizienz der Gesamtumgebung aufgrund der höheren Auslastung markant. Energieeinsparungen im Serverbereich von über 80% sind dabei nicht selten.

3.2 Stromaufnahme bei Erhöhung der Serverauslastung

CPU Auslastung Intel

Die Stromaufnahme eines Servers im Leerlauf (d.h. ohne Auslastung des Prozessors) steigt mit zunehmender Prozessorauslastung an. Die relative Zunahme der Stromaufnahme ist dabei nur ein Bruchteil der Zunahme der Prozessorauslastung. Ein höher ausgelasteter Server ist dadurch effizienter in Bezug auf die Energie als ein weniger hoch ausgelasteter Server. Die relative Energiezunahme ist zusätzlich abhängig von der Grösse und Typ des Servers (kleinerer Intel Server im Vergleich zu grösserem Unix Server).

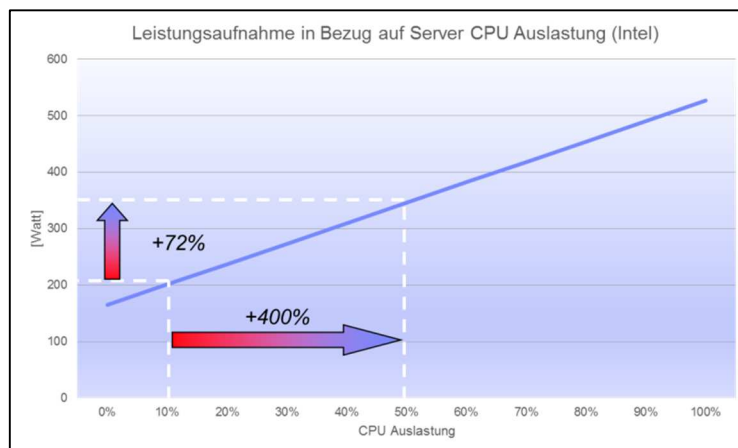


Abbildung 11: Leistungsaufnahme in Bezug auf CPU-Auslastung bei einem Intel-System (Quelle: IBM)

Obige Grafik zeigt ein Intel-Server IBM System x 3650 M4 mit zwei 8-Core Prozessoren Intel E5-2667 v2 3.3GHz, 256 GB Speicher, 2 Netzteilen, 2 SAN-Adaptoren sowie 2 internen Disklaufwerken.

Steigt die Server Auslastung um den Faktor 5 (+400%), nimmt die Leistungsaufnahme um 72% zu. Bzgl. der Virtualisierung bedeutet dies: Werden fünf Server mit einer CPU Auslastung von je 10% und einer gesamten Leistungsaufnahme von $5 \times 201 \text{ Watt} (= 1'005 \text{ Watt})$ durch einen einzelnen virtualisierten Server mit einer Auslastung von 50% ersetzt (gleiche totale Rechenleistung), so nimmt dieser einzelne Server 346 Watt auf. Die Energieaufnahme wird durch die Virtualisierung damit auf einen Drittel der nicht virtualisierten Variante mit fünf Servern reduziert (-66%).

CPU Auslastung IBM Power

Die Stromaufnahme eines grösseren Servers steigt aufgrund einer grösseren Anzahl LAN und SAN Karten, mehr Hauptspeicher und weiteren Komponenten bei steigender Auslastung relativ gesehen weniger an.

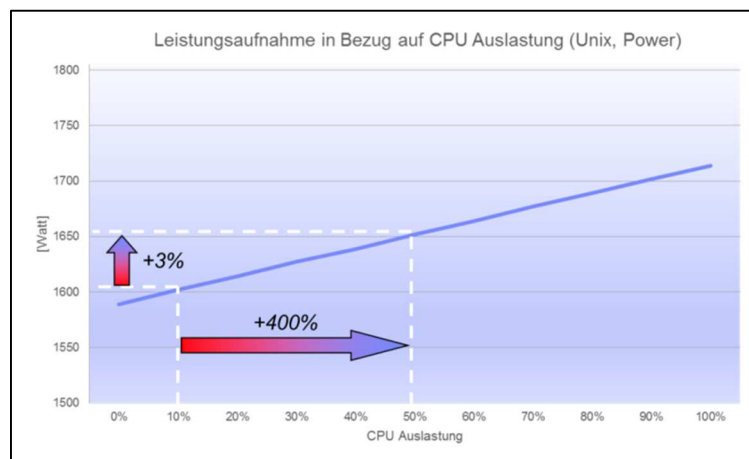


Abbildung 12: Leistungsaufnahme in Bezug auf CPU-Auslastung bei einem UnixPower-System (Quelle: IBM)

Obige Grafik zeigt ein Server vom Typ IBM Power System 770 mit vier 8-Core Prozessoren POWER7+ 3.8GHz, 256 GB Speicher, 4 Netzteilen, 10 LAN und SAN-Adaptoren sowie 8 internen Disklaufwerken.

Steigt die Server Auslastung um den Faktor 5 (+400%), nimmt die Leistungsaufnahme um 3% zu. Bzgl. der Virtualisierung bedeutet dies: Werden fünf Server mit einer CPU Auslastung von je 10% und einer gesamten Leistungsaufnahme von $5 \times 1'602 \text{ Watt} (= 8'010 \text{ Watt})$ durch einen einzelnen virtualisierten Server mit einer Auslastung von 50% ersetzt (gleiche totale Rechenleistung), so nimmt dieser einzelne Server 1'652 Watt auf. Die Energieaufnahme wird durch die Virtualisierung damit auf nahezu einen Fünftel der nicht virtualisierten Variante mit fünf Servern reduziert (-80%).

3.3 Beispielprojekte und deren Energieeinsparung

3.3.1 IBM POWER7+ und x86 System

In diesem Praxisbeispiel, das durch In&Out AG umgesetzt wurde, wird eine IBM POWER7+ Plattform mit AIX einer Realisierung mit Linux auf physischen x86-Servern gegenübergestellt [2]. Diese Gegenüberstellung ist nicht üblich und kommt in den realisierten Projekten gering vor. Es gilt jedoch nicht nur die reine Einsparung an Servern und Energie, sondern auch weitere vertragliche Aspekte zu berücksichtigen, im Wesentlichen den Support seitens Softwarehersteller:

- AIX Systeme sind immer mit Virtualisierung ausgestattet und diese werden zwingend von allen relevanten Softwareherstellern von auf AIX verfügbaren Produkten auch für produktive Systeme unterstützt. Unter anderen die Bankenlösungen wie Avaloq, analoge Produkte von Finnova oder Temenos und im Speziellen Oracle.
- Bei Virtualisierungen – wie im x86 Umfeld üblich – wird oft mindestens für die Produktionsumgebung eine physische Umgebung gefordert, da der Kunde im Fehlerfall (normalerweise auf einer produktionsidentischen, jedoch unabhängigen Integrationsumgebung) nachweisen muss, dass die Probleme nicht aufgrund der Virtualisierung auftraten → Eine nur schwer realisierbare Forderung.
- Es jedoch erwartet, dass aufgrund der sehr starken Verbreitung von x86 Virtualisierungsprodukten dieser Zwang zum Fehlerbeweis verschwinden wird und somit auch Produktions- und Integrationsumgebungen virtualisiert werden können.

Ein weiterer Aspekt ist die geforderte Rechenleistung, die eine Produktion zu Spitzenzeiten benötigt. Konkret bewirkt die maximal verfügbare Rechenleistung -limitiert durch die Anzahl in einem System einbaubare Prozessoren-, dass Produktionsumgebungen (und die Integrationsumgebung) auf physischen Servern realisiert werden. Hingegen können „sonstige Umgebungen“ wie in diesem Beispiel virtualisiert werden, da diese geringere Spitzenwerte aufweisen. Hier wird in den nächsten Jahren erwartet, dass durch die wachsende Performance von x86 Systemen auch Produktionsumgebungen virtualisiert werden können.

Im Weiteren, für die Realisierung der Projekte und den Vergleich werden auch folgende Annahmen berücksichtigt:

- Für die Grössenbestimmung von Servern ist die maximal notwendige Leistung oder Lastspitze entscheidend. Somit ist jeder physischen Server individuell auf die Lastspitzen auszulegen. Bei den eingesetzten virtuellen Systemen können die physischen Ressourcen überprovisioniert werden, da mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht alle Lastspitzen gleichzeitig auftreten. Bei POWER Systemen sind Überprovisionierungen von Faktor 3-5 üblich.
- Damit steigende Anforderungen keinen Ausbau oder Hardwarewechsel erfordern, wird eine Wachstumsreserve vorgesehen. Bei physischen Servern kann diese Wachstumsreserve nicht geteilt werden und muss für jeden physischen Server dediziert vorhanden sein. Wir rechnen im Folgenden mit einer Wachstumsreserve von 30% über 3 Jahre bei physischen Servern.
- Physische Server verfügen über ganzzahlige abgestufte Konfigurationen, z. B. 1, 2, 4 oder 8 Prozessoren. Da die benötigten Ressourcen nicht exakt ausgewählt werden können, muss auf die nächst grösserer Konfiguration zugegriffen werden, was in höheren Hardware- und Softwarekosten mündet.

Für weitere technische Details zu den eingesetzten Systemen wird auf die Studie in [2] verwiesen.

Vergleich des Strombedarfs

Bei der virtuellen Realisierung mit effektiv zwei physischen Servern gegenüber der Realisierung mit 29 physischen Servern erfolgte eine Reduktion um 86% an physischen Servern (obschon die „sonstigen Umgebungen“ virtualisiert wurden). Die notwendige Anzahl physischer Cores konnte um 81% reduziert werden, ebenso die Anzahl der notwendigen I/O-Adapter mit um 86%. **Die notwendige, elektrische Leistung der virtualisierten Realisierung ist 38% geringer.**

Gegenüberstellung	Anzahl der Server	Cores	Memory	Leistung
Virtualisiert	2	48	2'048 GB	5'412W
Physisch (Kombination)	29	248	2'896 GB	8'752W
Verhältnis virt. /phys.	14%	19%	71%	62%
Reduktion durch Virtualisierung/Konsolidierung				
Reduktion um	86%	81%	29%	38%

Tabelle 3: Gegenüberstellung von virtuellen und physischen Servern (Quelle: In&Out)

Vergleich der Investitions- und Stromkosten

Die Kostenvergleiche von beiden Systemen sind von folgenden Punkten abhängig:

- Hardwareinvestitionskosten und Wartungskosten
- Softwarelizenzkosten und Wartungskosten
- Integrations- oder Umstellungskosten nach Aufwand
- Laufende Stromkosten nach Energiebedarf
- Laufende Betriebskosten

In der Studie [2] wurde ein TCO-Vergleich (Total Cost of Ownership) der beiden Systemen gerechnet. TCO entspricht einer Schätzung der IT-Gesamtkosten. In der Tabelle 4 ist der Vergleich über Hard- und Softwareinvestitionen sowie Betriebskosten über die ersten 3 Jahre gerechnet. **Daraus wird ersichtlich, dass die Gesamtkosten einer x86 Intel Umgebung um 66% höher ausfallen, trotz initial markant tieferen Hardwarekosten. Interessant bezüglich der Stromeffizienz sind zudem die tieferen Stromkosten der Power (P7+) Umgebung.**

Zweck	Virt./Konsol. IBM P7+ [CHF]	Konventionell x86 Intel [CHF]
Hardware inkl. 3 Jahre Wartung	1'270'428	315'617
Software inkl. 3 Jahre Wartung	1'809'571	4'454'937
Stromkosten 3 Jahre	45'515	73'604
LAN/SAN 3 Jahre	24'000	174'000
Personalkosten 3 Jahre	660'000	1'320'000
SUMME	3'809'515	6'338'158
Relativ zu IBM P7+		+66%

Tabelle 4: Kostenvergleich des Stromverbrauchs, TCO 3 Jahre [2]

3.3.2 Weitere Beispielprojekte

In der Tabelle 5 sind weitere realisierte Projekte und deren erzielte Energieeinsparungen im Serverbereich dargestellt.

Rechenzentrum	Server zuvor	Server virtualisiert	Reduktion der Netzwerkanschlüsse	Server Energiereduktion
Bank D	61 Server 345.6 kW	1 Server 14.7 kW	93%	96%
Bank CH	157 Server 332 kW	2 Server 45.4 kW	89%	86%
Detailhandel	250 Server 150 kW	2 Server 22.6 kW	95%	85%
Bank USA	45 Server	1 Server	92%	75%
Versicherung	4 Server	1 Server	50%	60%

Tabelle 5: Vergleich der Energieeinsparung von herkömmlichen und virtualisierten Servern (Quelle: IBM)

Neben den primären Einsparungen auf Serverseite durch eine konsequente Virtualisierung auf wenige grosse Systeme werden durch die Reduktion der Anzahl Server typischerweise auch im Netzwerkbereich vergleichbare Einsparungen erzielt.

4 Speichertechnologien

In diesem Kapitel wird das Potential der Stromeinsparung im Bereich Storage analysiert sowie anhand eines praxisnahen Berechnungsbeispiels an einem aktuellen, in Rechenzentren eingesetzten, Highend Storage-Systems aufgezeigt. Gegenübergestellt wird der Stromverbrauch einer herkömmlichen, nicht optimierten Konfiguration mit einer durch Massnahmen und Technologien zur Unterstützung der Energieeffizienz optimierten Konfiguration des gleichen Storage-Systems.

Einen grossen Anteil am Verbrauch der elektrischen Leistung der Storage-Systeme tragen die Speicher-Medien. Deren Anzahl und Ausprägung beeinflussen somit wesentlich die gesamthaft benötigte elektrische Leistung für den Storage.

Drei primäre Massnahmen, welche an Storage-Systemen angewendet werden können, führen zu einer Stromeinsparung im Bereich Storage:

- Verwendung von Speicher-Medien mit geringerem Strombedarf
- Effizientere Nutzung der Storage-Systeme durch Erhöhung des Belegungsgrades vorhandener Kapazitäten
- Reduktion der gespeicherten Daten-Menge durch De-Duplizierung

4.1 Stromeinsparung durch Solid State Drive (SSD)

4.1.1 Energieeffizientere Speicher-Medien

Festplattenlaufwerke (HDDs) waren lange Zeit das bevorzugte Medium in einem Storage-System für permanente Datenspeicherung. Bewegliche Teile wie Motor und Plattenarme verursachen bei dieser Technologie den meisten Energieverbrauch. Um den Datendurchsatz zu beschleunigen erhöhen Hersteller die Rotationsgeschwindigkeit und damit zugleich auch den Energieverbrauch der HDDs. Rotationsgeschwindigkeit von 15k RPMs sind bei den HDDs mit höchstem Datendurchsatz üblich.

Seit wenigen Jahren stehen als Speicher-Medien für Storage-Systeme ebenfalls Solid State Drives (SSDs) zur Verfügung. Die SSDs sind neben anderen Komponenten mit auf NAND-basiertem Flash Speicher Einheiten ausgestattet. Sie sind gegenüber HDDs energieeffizienter und zuverlässiger, da sie keinerlei mechanische Teile wie Motoren und Antriebe enthalten. Eine SSD verbraucht ungefähr 80% weniger Strom als eine 15k-RPM HDD. In der Praxis hängen die Energieeinsparungen jedoch davon ab, wie die Speicherlösungen die SSDs und HDDs benutzen sowie im Weiteren von der Charakteristik der Anwendungen, die auf die Festplatten zugreifen.

Anhand einer praxisnahen Konfigurationsberechnung wird aufgezeigt, welche Stromeinsparung durch den Ersatz von herkömmlichen HDDs mit energieeffizienteren SSDs erreicht werden kann.

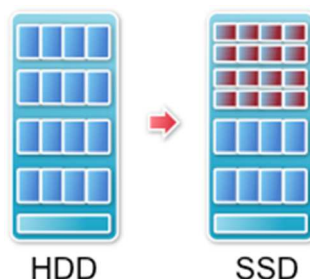


Abbildung 13: Prinzipdarstellung für Ersatz von HDDs durch SSDs (Quelle: In&Out)

Der Vorteil von herkömmlichen HDDs gegenüber den aktuellen SSDs ist der tiefere Preis der HDD und die höhere Speicher-Kapazität von bis zu 4TB gegenüber 800GB bei SSD. In der Praxis werden somit grosse Speicher-Kapazitäten mit einem Mix aus herkömmlichen HDDs mit

grosser Kapazität und energie-effizientere und schnellen SSDs mit kleinerer Kapazität abgedeckt.

Aus Erfahrung der Kunden der In&Out liegt die typische Effizienz von traditionellen Storage-Systeme zwischen 30 und 40 Prozent – 60 bis 70 Prozent der verfügbaren Speicherkapazität bleibt somit ungenutzt. Dadurch sind ungenutzte Speicher-Medien in Betrieb, wodurch unnötig elektrische Leistung verbraucht wird.

4.1.2 Effiziente Nutzung des Speichers

Durch den Einsatz von Thin Provisioning ist es nun möglich, virtuelle Festplatten zur Verfügung zu stellen. Dem Abnehmer (Server) wird dabei durch diese Überprovisionierung mehr Kapazität zur Verfügung gestellt, als physisch im Storage-System vorhanden ist. Es wird keine Reservekapazität entsprechend dem maximalen Speicherbedarf der Server oder Anwendungen definiert. Sobald die vom Server genutzte Kapazität einen bestimmten Schwellenwert überschreitet, wird aus einem vorhandenen Speicherpool freie Kapazität zusätzlich für den Abnehmer bereitgestellt.

Die Reduktion benötigter Speicher-Kapazitäten durch den Einsatz von Thin Provisioning und der dadurch möglichen Stromeinsparung wird anhand einer praxisnahen Konfigurationsberechnung aufgezeigt.

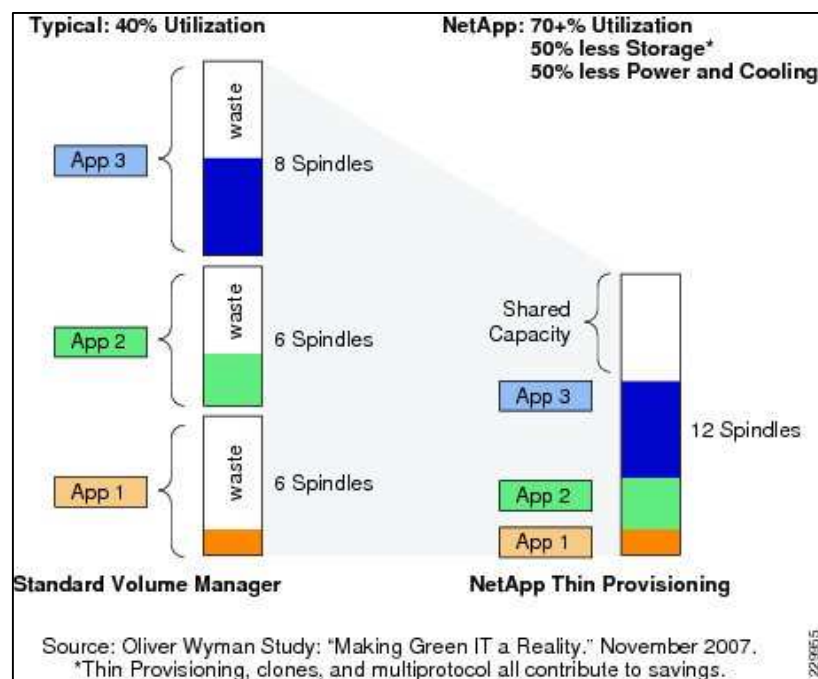


Abbildung 14: Prinzip von Thin Provisioning [3]

4.1.3 Beispielprojekt SDD und Thin Provisioning

Systembeschreibung

Das Potential der Stromeinsparung Storage wird mithilfe eines aktuellen und im Markt verbreiteten Storage Systems ausgewiesen, der Virtual Storage Platform (VSP) G1000 von Hitachi Data Systems, Tochterunternehmen von Hitachi Ltd. (TSE: 6501). Dieses System ist ein typischer Vertreter von Highend Storage Systemen.

Auf diesem Storage-System können die aufgezeigten technischen Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung und Stromeinsparung angewendet werden. Für die VSP G1000 werden

herkömmliche HDD und SSD Speicher-Medien angeboten und kann insgesamt bis zu einer maximalen Kapazität von über 8 PB ausgebaut werden. Thin Provisioning und Daten-Deduplikation sind implementiert. Details zum VSP G1000 sind dem technischen Datenblatt entnommen [4].

Als Methode zur Messung der benötigten elektrischen Leistung für das VSP G1000 wird das durch Hitachi Data Systems frei zur Verfügung gestellte Hitachi Power & Weight Tool in der aktuellen Version 14.01 verwendet¹.

Als Basis für den Vergleich des Energieverbrauchs Storage und einer möglichst praxisnahen Modellrechnung wird von einer Konfiguration einer HDS VSP G1000 ausgegangen, wie sie typischerweise in der Praxis im highend Bereich vorkommen kann. Die Werte sind aus der Erfahrung der In&Out im schweizerischen Kundenumfeld abgeleitet und in der Tabelle 6 dargestellt.

System	Disk Typ	#Disks	#Reserve-Disks	Kapazität	Anteil Kapazität
1	TIER 1 300 GB 2.5" SAS 15'000 U/min	760	22	235 TB	40%
	TIER 2 4 TB 3.5" SAS 7'200 U/min	80	8	352 TB	60%
	Total System 1	840	30	587 TB	100%
2	TIER 1 800 GB 2.5" SSD	268	26	235 TB	40%
	TIER 2 4TB 3.5" SAS 7'200 U/min	80	8	352 TB	60%
	Total System 2	348	34	587 TB	100%
3	TIER 1 800 GB 2.5" SSD	108	11	95 TB	40%
	TIER 2 4 TB 3.5" SAS 7'200 U/min	32	3	141 TB	60%
	Total System 3	140	14	235 TB	100%

Tabelle 6: System 1 - Basis Storage, System 2 - Optimierte Konfiguration SSD 2-TIER, System 3 - Kapazität-optimiertes Storage

Zur Anwendung kommen zwei verschiedene Speicher-Medien, welche sich in der Speicher-Kapazität, der Daten-Zugriffsgeschwindigkeit und dem Preis voneinander unterscheiden. In einer typischen 2-TIER Konfiguration eines Storage-Systems werden zirka 60% der Speicher-Kapazität für die tiefsten Anforderungen bezüglich Datenzugriffs-Geschwindigkeit mit den langsamen und günstigen Nearline-SAS Speicher-Medien abgedeckt und zirka 40% für die mittleren bis hohen Anforderungen mit den 15'000 U/min SAS HDD.

¹Hitachi Virtual Storage Platform G1000: <http://www.hds.com/go/weight-and-power-calculator/>

Im Vergleich der Messungen eines Storage-Systems mit herkömmlichem Setup und eines mit Verwendung von SSD anstelle der HDD kann bei der elektrischen Leistung 5'700W eingespart werden. Nebst dem Einsatz der energieeffizienteren SSD wird die grosse Einsparung durch die Reduktion der Anzahl Disks erzielt. Die Reduktion der Disks ergibt sich aus dem Ersatz der 300 GB HDDs mit den 800 GB SSDs.

Gegenüberstellung	#Disks	Anteil Disks	Kapazität	Leistung
Basis Konfiguration VSP G1000	870	100%	587 TB	10'500 W
Optimierte Konfiguration I	382	44%	587 TB	4'800 W
Reduktion durch SSD Speicher-Medien				
Reduktion $(= 1 - \frac{\text{Optimierte Konfiguration SSD}}{\text{Basis Konfiguration}})$				54%

Tabelle 7 – Gegenüberstellung Basis- vs. optimierte Konfiguration SSD

Mit der zusätzlichen Anwendung der Massnahmen zur Kapazitäts-Einsparungen kann die Anzahl der Disks weiter verringert werden und damit ebenso die benötigte elektrische Leistung um insgesamt bis zu 7'500W.

Die notwendige, elektrische Leistung bei optimierter Konfiguration Storage ist 72% geringer.

Gegenüberstellung	#Disk	Anteil Disks	Kapazität	Leistung
Basis Konfiguration VSP G1000	870	100%	587 TB	10'500 W
Optimierte Konfiguration II	154	18%	235 TB	3'000 W
Reduktion durch SSD und Kapazitäts-Einsparung insgesamt				
Reduktion $(= 1 - \frac{\text{Optimierte Konfiguration}}{\text{Basis Konfiguration}})$				72%

Tabelle 8 – Gegenüberstellung Basis- vs. optimierte Konfiguration insgesamt

Aktuell wird gemäss einer IDC-Studie [5] von einer Verdoppelung der erzeugten Datenmenge alle zwei Jahre ausgegangen. Dem gegenüber wurde in den letzten Jahren lediglich eine Wachstumsrate der Speicherdichte bei herkömmlichen HDDs um jährlich maximal 30% erzielt. SanDisk als Hersteller von SSDs geht bei diesen Speicher-Medien von einer Verdoppelung der Kapazität alle zwei Jahre aus, was in etwa dem Zuwachs der erzeugten Datenmenge entspricht. [6]. Ob dies jedoch so erreicht werden kann wird sich erst in den nächsten Jahren zeigen.

Gegenüberstellung Grobkostenschätzung der Investitionen	#Disk	Typ	Gesamtkostenschät- zung der Investition (gerundet)
Basis Konfiguration VSP G1000	870	587 TB HDD	ca. 0.6 - 0.9 Mio. CHF
Optimierte Konfiguration I	382	587 TB SSD	ca. 3.0 - 4.7 Mio. CHF
Optimierte Konfiguration II	154	235 TB SSD	ca. 1.2 - 1.9 Mio. CHF
Umstellungsaufwand (Planung, Durchführung mit Tests etc.)			48'000 CHF
Jährliche Wartungskosten als Anteil der Investitionen			15 %

Tabelle 9 – Gegenüberstellung Grobkostenschätzungen Investitionen

In Tabelle 9 sind die durch die In&Out AG geschätzten Investitionskosten aufgeführt, welche zum heutigen Zeitpunkt mit einer Unsicherheit von +/- 20% zu betrachten sind. Konkretere Preise können nur durch einen Hersteller dieser Produkte genannt werden, wozu eine Preisanfrage notwendig wäre.

4.2 Stromeinsparung durch Flashspeichersysteme

Durch den Ersatz rotierender Disklaufwerke durch Flash-basierte Speicherprodukte kann der Energiebedarf im Rechenzentrum für den Storage-Bereich gesenkt werden. So bieten Flash-basierte Produkte eine wesentlich höhere I/O Leistung in Form von Operationen je Sekunde (IOPS – Input/Output Operations per Second) als dies mit einer üblichen Anzahl mechanisch aufgebauter Laufwerke möglich ist – bei gleichzeitig tieferer Stromaufnahme. Vergleich einer 40TB Umgebung konventionell bzw. mit Flash Speicher:

	Disk basierend	Flash basierend
Nutzbare Kapazität	40 TB	40 TB
Anzahl Laufwerke	161 x 300GB / 15k	12x 4TB Flash Module
I/O Leistung	50'000 IOPS	1'100'000 IOPS
Antwortzeit	4 ms	0.2 ms
Platzbedarf	14 EIA (7/20 Rack)	2 EIA (1/20 Rack)
Energiebedarf	1875 W	625 W

Tabelle 10: Vergleich der Speicher-Technologien in 40TB-Umgebung (Quelle: IBM)

Eine um den Faktor 20 verbesserte Antwortzeit bei einem Drittel der Stromaufnahme und einer 22-fachen I/O Leistung mit Flash Speicher bei gleicher Nutzkapazität in GB.

Wird eine hohe I/O Leistung je Sekunde benötigt, müssen im Gegensatz zu Flash mehr mechanische Disklaufwerke eingesetzt werden als rein kapazitätsbedingt notwendig wäre. Dadurch steigt die Leistungsfähigkeit, aber auch der Strom- sowie Platzbedarf im Rechenzentrum.

Vergleich einer 1'100'000 IOPS Umgebung konventionell bzw. mit Flash Speicher ist in der Tabelle 11 dargestellt. Eine um den Faktor 20 verbesserte Antwortzeit bei gleichzeitiger Reduktion der Stromaufnahme um 98% mit Flash Speicher.

	Disk basierend	Flash basierend
Nutzbare Kapazität	880 TB	40 TB
Anzahl Laufwerke	3'542 x 300GB / 15k	12x 4TB Flash Module
I/O Leistung	1'100'000 IOPS	1'100'000 IOPS
Antwortzeit	4 ms	0.2 ms
Platzbedarf	308 EIA (8 Racks)	2 EIA (1/20 Rack)
Energiebedarf	41.25 kW	625 W

Tabelle 11: Vergleich der Speicher-Technologien in 1.1 MIOPS-Umgebung (Quelle: IBM)

Da im Rechenzentrum sehr oft nicht der eigentliche Speicherplatz in TB sondern die benötigte I/O-Leistung die Anzahl an Disklaufwerken definiert, ergibt sich durch den Einsatz Flash-basierter Technologien eine Einsparmöglichkeit bzgl. Energiebedarf zwischen dem Faktor 3 und dem Faktor 50. Typischerweise wird ca. der Faktor 10 erreicht.

Das in der Tabelle 12 gezeigte Praxisbeispiel in einem schweizerischen Unternehmen wurde nach Performance optimiert, was in der Branche üblich ist.

	Disk basierend	Flash basierend
Anzahl Laufwerke	4'500 Laufwerke	132 Module
Antwortzeit	1.8 ms	0.2 ms
Platzbedarf (Storage)	28 Racks	3 Racks
Energiebedarf	101.6 kW	10.6 kW

Tabelle 12: Praxisvergleich der Speicher-Technologien (Quelle: IBM)

Bei gleichzeitiger Antwortzeitverbesserung um den Faktor 9 und einer Platzreduktion um 90% konnte eine Energieeinsparung von 90% erreicht werden.

4.3 Stromeinsparung beim Backup-Systemen

Neben Server und Storage, welche in den vorherigen Kapiteln behandelt wurden, befinden sich des Weiteren IT-Komponenten für Backup und Netzwerk in den Rechenzentren. In diesem Kapitel erfolgt die Beschreibung der aktuell verwendeten Backup-Systeme und der stromeffiziente Alternativen sowie deren Vor- und Nachteile.

Die Berechnungen des Stromverbrauchs erfolgen anhand theoretischer Werte (z.B. Datenblättern der Hersteller).

4.3.1 Vor- und Nachteile von disk- und bandbasierten Lösungen

Die den täglichen Veränderungen durch Anwender oder Applikationen unterworfenen Daten werden auf Backup-Systemen zum Zweck der Datensicherung (und Wiederherstellung) abgelegt. Die Backup-Systeme befinden sich ebenfalls in einem Rechenzentrum und sind über das Netzwerk mit den Quellen, d.h. Servern und/oder Stagesystemen verbunden. Ob sich die Backup-Systeme im selben Rechenzentrum befinden und wie die Daten auf das Backup-System gesichert werden, wird an dieser Stelle nicht weiter vertieft.

Im professionellen Betrieb von IT-Infrastrukturen werden vorwiegend band- oder diskbasierte Backup-Systeme eingesetzt, welche in der folgenden Tabelle gegenübergestellt werden:

Typ	Vorteile	Nachteile
Bandbasiert	• lange Aufbewahrungsdauer der Bänder • geringer Energieverbrauch • hohe Kapazität und tiefer Preis der Bänder • Ausbaubarkeit • Bänder können ausgelagert werden	• Serielle Schreib- / Leseaktionen • Lange Zugriffszeiten, je nach Ort der Daten • Empfindlichkeit der Bänder gegenüber Magnetismus • Kosten Laufwerke
Plattenbasiert	• hohe Performance • schneller Zugriff auf Daten • Erhöhter Schutz der Daten durch RAID-Technologie	• hoher Energiebedarf durch (rotierende) Platten • kostenintensive, sprungfixe Erweiterungen (Ausbaustufen)

Tabelle 13: Gegenüberstellung von Backup-Systemen (Quelle: In&Out)

Neben diesen beiden Typen existieren noch Backup-Systeme mit optischen Medien wie CD, DVD, welche in einem professionellen Umfeld aufgrund der langsamen Verarbeitungsgeschwindigkeit für Backup nicht eingesetzt und somit nicht betrachtet werden. Ein wichtiger Gesichtspunkt bei Backup-Systemen ist, dass durch die Hersteller Technologien im Storage auch für Backup angewendet werden. Ein wesentlicher Grund hierfür sind aus unserer Sicht sicherlich die Kosten und da ein (diskbasiertes) Backup-System im Prinzip einem Storage-System gleicht, finden sich die im Kapitel 4 beschriebenen Technologien zur Deduplizierung und Komprimierung auch in Backup-Systemen wieder. Hier ist anzumerken, dass Komprimierung auf bandbasierten Backup-Systemen gegenüber Storage-Systemen schon seit Jahrzehnten verbreitet ist.

4.3.2 Projektbeispiel Backup-System

Bei einem Praxisbeispiel musste im Jahr 2013 das bestehende Backup-System ersetzt werden, dabei wurden eine bandbasierte und eine diskbasierte Lösung betrachtet. Die wesentlichen Rahmenbedingungen waren:

- Backup von ca. 40 TB Daten (unkomprimiert, nicht dedupliziert, von Quellsystemen)
- Durch die regelmässige Datensicherung und geforderte Aufbewahrungsdauer sind total ca. 240TB (unkomprimiert, nicht dedupliziert) zu sichern
- Anzahl Quellsysteme: 30 physische Server mit insgesamt 250 virtuellen Servern

Die Anzahl der Quellsysteme ist rein informativ und für die Hardware des Backup-Systems nicht relevant.

Es wurden Backup-Systeme von HP betrachtet, welche die folgenden Eckwerte aufwiesen. Diese sind in der Lage, die Datenmenge von 240TB zu sichern.

Backup-System	Konfiguration	Kapazität	Leistungsbedarf der Komponenten	Gesamte Leistung
Diskbasiertes Backup-System B6200	1x Basiskomponente	48 TB	3'312 W	3'312 W
	4 x Erweiterung (48GB Upgrade Kit)	48 TB	912 W	3'648 W
Summe		240 TB		6'960 W
Bandbasiertes Backup-System MSL6480 (bis zu 6 Schreib-/Lesestationen pro Modul)	1 x Basismodul (QU625A)	-	max. 200 W	200 W
	1 x Erweiterungsmodul (QU626A)	-	max. 200 W	200 W
	Bänder: 100 Stk. à 2.5 TB (LTO-6)	250 TB	0 W ²	0 W
Summe		250 TB		400 W
Reduktion durch bandbasierte Backup-Systeme $(= 1 - \frac{\text{Bandbasierte Konfiguration}}{\text{Diskbasierte Konfiguration}})$				94%

Tabelle 14: Gegenüberstellung von disk- und bandbasierten Backup-Systemen (Quelle: In&Out, Daten: [7])

Die Berechnungen gemäss Tabelle 14 basieren auf der gesamten zu sichernden Datenmenge von 240 TB.

Auch auf den Backup-Systemen kann eine Komprimierung oder Deduplizierung eingesetzt werden. Der eher konservativen Annahme von 60% Datenreduktion stehen Herstellerwerte von über 90% gegenüber, was sehr optimistisch erscheint. Wir setzen einen realistischen Wert von 80% ein. Die nun zu sichernde Datenmenge berechnet sich zu 48 TB und somit können die Konfiguration entsprechend angepasst werden, wie in der Tabelle 15 dargestellt wurde.

Backup-System	Konfiguration	Kapazität	Leistungsbedarf der Komponente	Gesamte Leistung
Optimiertes diskbasiertes Backup-System B6200	1x Basiskomponente	48 TB	3'312 W	3'312 W
Summe		48 TB		3'312 W
Optimiertes bandbasiertes Backup-System MSL6480	1 x Basismodul (QU625A)	-	max. 200 W	200 W
	Bänder: 20 Stk. à 2.5 TB (LTO-6)	50 TB	0 W ³	0 W
Summe		50 TB		200 W
Reduktion durch bandbasierte Backup-Systeme $(= 1 - \frac{\text{Bandbasierte Konfiguration}}{\text{Diskbasierte Konfiguration}})$				94%

Tabelle 15: Energetischer Vergleich von optimierten disk- und bandbasierten Backup-Systemen (Quelle: In&Out, Daten: [7])

Aufgrund des modularen Aufbaus der Backup-Systeme reduziert sich die Anzahl Komponenten, das Verhältnis bleibt nahezu gleich bei 94% und im Vergleich zum ursprünglichen System (Tabelle 14) ergibt ein Einsparungspotenzial von 97.1 %.

Es ist jedoch zu beachten, dass diese Reduktionen in der Leistungsaufnahme mit den entsprechenden (nicht abschliessenden) Liste von Nachteilen gemäss Tabelle 13 einhergeht.

Einen weiteren Vergleich von nicht optimierten und optimierten Backup-Systemen zeigt die folgende Übersicht (Tabelle 16):

² Bänder sind Leistungsfrei
³ Bänder sind Leistungsfrei

Backup-System	Konfiguration	Kapazität	Gesamte Leistung
Diskbasiert	nicht optimiert	240 TB	6'960 W
	optimiert	48 TB	3'312 W
Reduktionspotential (diskbasiert)			52%
Bandbasiert	nicht optimiert	250 TB	400 W
	optimiert	50 TB	200 W
Reduktionspotential (bandbasiert)			50%

Tabelle 16: Energetischer Vergleich von optimierten disk- und bandbasierten Backup-Systemen
(Quelle: In&Out)

Durch den Einsatz eines optimierten Backup-Systems reduziert sich der Gesamtleistungsbedarf **von 6'960 W auf 3'312 W** beim diskbasierten Backup-System und **von 400 W auf 200 W** beim bandbasierten Backup-System, was einem Reduktionspotential **von 52% bzw. 50%** entspricht.

Aus der Praxiserfahrung ist ein anderer Trend bei den Kunden erkennbar: Aus funktionalen Gründen und wegen Performanceanforderungen wird oft der Energieverbrauch „vernachlässigt“, sodass von nicht optimierten bandbasierten Backup-Systemen auf optimierte diskbasierte Backup-Systeme gewechselt wird. Obwohl nun ein optimiertes Backup-System verwendet wird, nimmt der Energieverbrauch zu. Mit den obigen Werten würde dies eine Zunahme von 400 W auf 3'312 W, resp. eine **Zunahme von 728%** bedeuten.

5 Gleichstrom-/Wechselstromtechnik (DC/AC)

5.1 Funktionsbeschreibung der energieeffizienten Gleichstromtechnik (DC)

Gleichstromtechnologie

Nach anfänglichen Disputen zwischen den Befürwortern des Wechselstroms (Nicola Tesla und George Westinghouse) und dem Befürworter des Gleichstroms (Thomas A. Edison) während des sogenannten „Stromkriegs“ gegen Ende des 19. Jahrhunderts setzte sich der Wechselstrom schließlich durch und dominiert nun schon seit über 100 Jahren die Stromübertragung und -verteilung. Doch das bedeutet nicht, dass der Gleichstrom von der Bildfläche verschwand. Im heutigen digitalen Zeitalter sind immer mehr mit Gleichstrom betriebene Geräte im Einsatz – Unterhaltungselektronik, industrielle IT, Kommunikationstechnik, Elektrofahrzeuge, um nur einige Beispiele zu nennen. Am anderen Ende der Energieversorgungskette stehen Photovoltaikanlagen und Brennstoffzellen (sowie einige Windparks), welche Gleichstrom erzeugen. Auch bei der Stromübertragung gibt es eine wichtige Ausnahme zum sonst vorherrschenden Wechselstrom: die Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ), die eine verlustarme Übertragung hoher Leistungen über große Entfernungen ermöglicht. Mit zunehmender Bedeutung des Gleichstroms in den Bereichen Energieerzeugung, -übertragung, -speicherung und -nutzung liegt immer mehr Elektrizität entlang der Versorgungskette mindestens einmal in Form von Gleichstrom vor. Zwar sind einige Umwandlungen erforderlich, doch in manchen Fällen werden die jeweiligen Spannungen und Frequenzen nur noch aus historischen Gründen verwendet, während die damit verbundenen Umwandlungen vermeidbare Energieverluste verursachen.

Gleichstrom-Rechenzentrum

Rechenzentren eignen sich besonders gut für eine Versorgung mit Gleichstrom, da sie eine Vielzahl identischer oder zumindest ähnlicher Verbraucher (Server, Netzwerkkomponenten, Speicher usw.) enthalten, was die Zahl der erforderlichen Spannungsniveaus reduziert. Eine DC-Versorgung von Rechenzentren erfordert dadurch weniger Komponenten und ist mit geringeren Verlusten verbunden als eine AC-Versorgung. Für die Versorgung von Rechenzentren gibt es mehrere Quellen wie z.B. Netz, Notstromgenerator, Solaranlage und / oder Brennstoffzelle die sich mit Gleichstrom ohne aufwendige und fehleranfällige Synchronisationsanlagen koppeln lassen.

Technische Lösung (erläutert anhand der Abbildung 15: Eine DC-Versorgung von Rechenzentren erfordert weniger Komponenten und ist mit geringeren Verlusten verbunden als eine AC-Versorgung (Quelle: ABB))

Für die Gleichstromversorgung wird meistens eine Leerlaufspannung von 380 V - 400 V gewählt. Einerseits gilt es, die Spannung möglichst hoch zu halten, um die Verluste und die benötigte Kupfermenge zu minimieren. Andererseits müssen die Sicherheit des Personals und die Kompatibilität mit der zu versorgenden Ausrüstung berücksichtigt werden.

Eine DC-Versorgung von Rechenzentren erfordert weniger Komponenten und ist mit geringeren Verlusten verbunden als eine AC-Versorgung.

Vom Netz bis zum Server

Die Netzeinspeisung durch das lokale Energieversorgungsunternehmen (EVU) erfolgt meistens redundant, also durch zwei unabhängige Unterwerke. Dies kann durch die geforderte Verfügbarkeit so bestimmt sein. Die Einspeisung erfolgt zudem typischerweise auf der 16- bis 20-kV-Mittelspannungsebene. Je nach Verfügbarkeit ist der Einsatz einer Notstrom-Einspeisung durch einen Dieselgenerator notwendig.

Die Mittelspannung wird zunächst mittels eines Transformators auf das Niederspannungsniveau gebracht.

Die Gleichrichtung auf Gleichspannung erfolgt durch das zentrale Gleichrichtermodul. Dieser Schritt erfolgt jeweils einmal für die Energieversorgung der Server (Hauptversorgung) und für die Ladung der Batterien, die eine gewisse Autonomiezeit garantieren müssen. Die nachfolgende Niederspannungs- Schaltanlage hat zwei Funktionen: Zum einen stellt sie die Schnittstelle zu den Batterien dar, und zum anderen dient sie der Verteilung der Energie an die sogenannten PDU's (Power Distribution Units).

Die PDU's wiederum verteilen die Energie innerhalb der IT-Räume und speisen schließlich die Server.



Abbildung 15: Eine DC-Versorgung von Rechenzentren erfordert weniger Komponenten und ist mit geringeren Verlusten verbunden als eine AC-Versorgung (Quelle: ABB)

Den Abschluss der Energieversorgungskette bildet ein Rack mit verschiedenen Servern. Es besteht die Ansicht, dass sich mit DC versorgte IT-Hardware von AC-versorgter Hardware unterscheidet, was jedoch nicht der Fall ist. Tatsächlich sind die Server identisch, der einzige Unterschied liegt im Netzteil. Abgesehen vom Anschluss gibt es äußerlich keine sichtbaren Unterschiede (identischer Formfaktor).

5.2 Kalkulation der prozentualen Stromeinsparung

Die prozentualen Stromeinsparungen werden anhand der Energieeffizienz der typischen Versorgungskonzepte für AC oder DC kalkuliert. D.h. je energieeffizienter die Energieversorgungsarchitektur ist, desto höher ist die Stromeinsparung.

Die Effizienz eines Versorgungskonzepts bzw. einer Architektur wird anhand einer Kumulierung der Wirkungsgrade der entlang der gesamten Stromversorgungskette eingesetzten Komponenten ermittelt.

Der Wirkungsgrad einer Komponente ist eine dimensionslose Größe und beschreibt das Verhältnis der Nutzleistung P_{ab} zur zugeführten Leistung P_{zu} und wird üblicherweise mit dem griechischen Buchstaben η bezeichnet.

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

Die Betrachtungsweise der Stromversorgungskette zur Kalkulationen der Einsparungen beschränkt sich bei diesem Vergleich auf den Versorgungstrang, und zwar von der Netzeinspeisung (Mittelspannungstransformator) bis zum Netzteil der Server (PSU).

Des Weiteren wird die Effizienz im sogenannten „Normalbetrieb“ betrachtet - also bei Energieversorgung der IT Verbraucher (Server) direkt ab Netzeinspeisung. Typischerweise stehen in beiden Architekturen ebenfalls Ersatzenergiequellen zur Verfügung - z.B. Notstromgeneratoren, welche bei Netzausfall die notwendige Energie ins System liefern. Da es sich dabei jedoch um einen Ausnahmezustand („Notbetrieb“) handelt, wird dieser im Vergleich ignoriert.

Als Ermittlungs- bzw. Vergleichsgrundlage wird jeweils ein typisches Versorgungskonzept für AC und DC, wie in der Abbildung 15 und Abbildung 16 dargestellt sind, herbeigezogen.

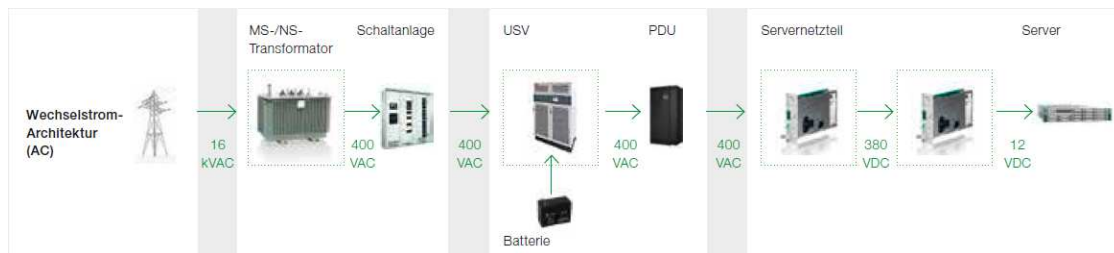


Abbildung 16: Die typische Wechselstrom-Architektur (Quelle: ABB Schweiz AG)

Die Hauptkomponenten im AC-System sind:

- Mittel-/ Niederspannungstransformator
- Schaltanlage (Niederspannungs-Hauptverteilung)
- Statische USV (mit Batterien)
- PDU (Unterverteilung)
- Servernetzteil

Die Hauptkomponenten im DC-System sind:

- Mittel-/ Niederspannungstransformator
- AC Einspeiseschalter
- Gleichrichter
- DC Schaltanlage (Niederspannungs-Hauptverteilung)
- PDU (Unterverteilung)
- Servernetzteil

Kalkulationsgrundlage

In beiden Systemen wird die elektrische Energie über Schaltanlagen (Haupt- & Unterteilungen) verteilt. Die Verbindungen zwischen den verschiedenen Komponenten sind entweder mittels Stromschienen oder Kabel erstellt.

Haupt- & Unterteilungen bestehen grundsätzlich aus Schaltern und Sammelschienen.

Nachhaltige Verteilverluste treten im AC sowie auch im DC System auf, speziell bei langen Leitungen und hohen Strömen. Bei DC Verteilsystemen beeinflussen lediglich die Wirkverluste die Effizienz. Bei AC Verteilsystemen addiert sich zusätzlich die Blindleistung negativ auf.

In der Kalkulation wird deren Effizienz (AC und DC) mit 100% angenommen und daher der Effizienzunterschied nicht berücksichtigt.

Die nachstehenden Hauptkomponenten der jeweiligen Versorgungsarchitekturen bilden die Vergleichsgrundlage:

- Mittel-/ Niederspannungstransformator
- USV oder Gleichrichter
- Servernetzteil
- Sammelschienen- oder Kabelverbindungen zwischen den Komponenten

Zusammenhang

Die gesamte Effizienz oder auch der Gesamtwirkungsgrad der Architektur wird anhand der folgenden Berechnungsformel bestimmt, da die Komponenten in der Versorgungskette hintereinander in Serie arbeiten, um eine sichere Versorgung der Verbraucher zu gewährleisten.

$$\eta_{\text{gesamt}} = \eta_1 * \eta_2 * \dots * \eta_n$$

Der Gesamtwirkungsgrad η_{gesamt} wird durch Multiplikation der einzelnen Teilwirkungsgrade der Hauptkomponenten ermittelt.

Die Daten bzw. Wirkungsgrade der Komponenten in der unterstehenden Tabelle sind durch verschiedene Faktoren der Produkte und deren Herstellern bestimmt. Zum Beispiel das Design, die Qualität, die Güteklasse oder die Beanspruchung haben hierbei einen massgebenden Einfluss. In Abhängigkeit dieser Punkte ergibt sich pro betrachtete Komponenten schlussendlich eine gewisse Bandbreite des Wirkungsgrades. Pro Umwandlungsschritt sind die entsprechenden Bandbreiten der jeweiligen wichtigsten Komponenten im Versorgungsstrang gezeigt.

AC System			Wirkungsgrad		DC System			Wirkungsgrad	
Umwandlungsschritt			Von	bis	Umwandlungsschritt			von	bis
1		LV / MV Transformator	97%	99.5%	1		LV / MV Transformator	97%	99.5%
2 & 3		USV	92%	96.5%*	2		Gleichrichter	96%	98%
4 & 5		Server-Netzteil	88%	94%	3		Server-Netzteil	94%	98%

Tabelle 17: Typische Wirkungsgrade im Versorgungsstrang bei AC und DC Architektur
(Quelle: ABB Schweiz AG)

Bestimmt man den Gesamtwirkungsgrade der jeweiligen AC und dem DC Architektur anhand der Werte in der Tabelle 17, so erhält man eine durchschnittliche verbesserte Energieeffizienz von 10%. Im optimalen Fall verbessert sich der Gesamtwirkungsgrad theoretisch bis zu 17.1 % (Abbildung 17).

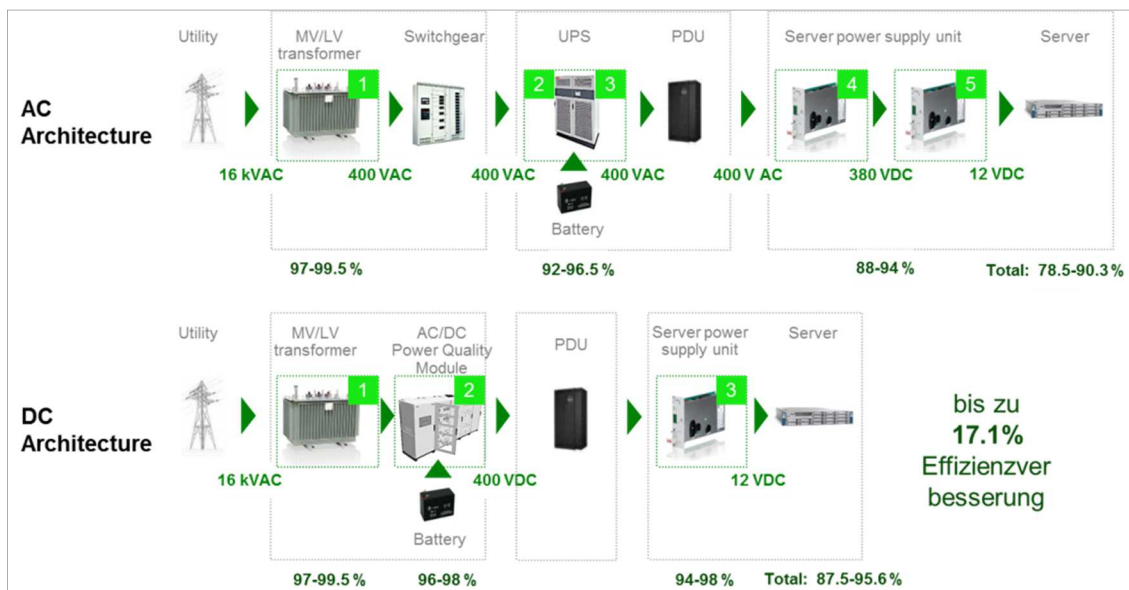


Abbildung 17: Effizienzvergleich von DC- und AC-Architektur (Quelle: ABB)

Jegliche weiteren, positiven Verstärkungen der Energieeffizienz, welche ausserhalb der betrachteten Stromversorgungskette auftreten, werden nicht berücksichtigt. Ein Beispiel dafür ist die geringere, erforderliche Netto-Kühlkapazität infolge geringerer Abwärme durch geringere Verlustleistung.

5.3 Vergleich der technischen Vor-/Nachteile

Systemvergleich

Vergleicht man die Topologie der Gleichstromarchitektur mit einer herkömmlichen Wechselstromarchitektur (siehe Abbildung 17), so zeigt sich, dass bei Gleichstrom insgesamt zwei Umwandlungen weniger stattfinden.

Zunächst fällt die traditionelle unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) mit Gleichrichter und Wechselrichter weg. Stattdessen kommt eine Gleichrichtereinheit zum Einsatz welcher die Umwandlung auf DC für die Energieversorgung der Server (Hauptversorgung) und für die Ladung der Batterien (Ladegerät) gewährleistet. Innerhalb des Netzgeräts des Servers kann ausserdem auf die Gleichrichtung am Eingang verzichtet werden.

Bei der Energieversorgung eines Rechenzentrums in Nordamerika (aber auch in Asien), befindet sich bei Wechselstrom innerhalb des PDU ein zusätzlicher Transformator, um hauptsächlich aus Gründen der Personensicherheit 480 / 277 V auf das Niveau von 208 / 120 V zu transformieren. In diesem Fall entfällt bei Gleichstrom auch eine Transformation – dies wirkt sich zusätzlich positiv auf das System aus.

Durch diese Einsparungen erzielen die DC-Netzgeräte einen höheren Wirkungsgrad als AC-Netzgeräte. Laut Angaben von führenden Herstellern liegt die Verbesserung im Vergleich zu einem modernen AC-Netzgerät bei 4 % und mehr.

Ein anderer positiver Effekt ist, dass durch die aktive AC/DC Eingangsstufe, die harmonischen Verzerrungen frühzeitig minimiert werden können.

Ein weiterer physikalischer Vorteil von Gleichstrom ist, dass bei DC der sogenannte Skin-Effekt in den Kabeln nicht vorherrscht. Der Skin-Effekt oder auch Stromverdrängung genannt, ist der Effekt, der bei einem durch AC durchflossenen Leiter die Stromdichte im Inneren des Leiters niedriger ist als im äusseren Bereich. Dies wirkt sich bei Gleichstrom positiv auf die Energieeffizienz aus.

Desweiteren nimmt der Platzbedarf weiter ab, da durch die Einsparung von 2 Umwandlungen in der Versorgungskette somit weniger Komponenten im System haben.

Dadurch wird die Architektur einfacher und der Wartungsaufwand reduziert.

Es müssen weniger Komponenten geprüft und unterhalten werden, was zu einer Reduktion der Unterhaltungskosten führen kann.

Durch den Einsatz von Gleichstrom fallen die Blindstromanteile im System weg ($kVA = kW$).

Eine teure Blindstromkompensation entfällt dadurch ebenfalls.

Zudem fallen bei Gleichstrom die kostenintensiven und störungsanfälligen

Synchronisierungseinrichtungen weg, welche bei Wechselstrom notwendig sind.

Nebst den vielen Vorteilen, welche der Einsatz von Gleichstromtechnik in Rechenzentren bietet, gibt es noch Aufgaben für die Zukunft.

Seit einiger Zeit dominiert der Wechselstrom in der Stromübertragung und –verteilung.

Die Normen und Standards für die Versorgung und Verteilung innerhalb von Infrastrukturbauten sind seit Jahren definiert. Der Einsatz von Gleichstrom im Rechenzentrum für die elektrische Versorgung ist hingegen neu und kann auch als Paradigmen-Wechsel verstanden werden.

In der Gleichstromtechnik ist die Definition der Normen und Standards noch nicht so weit fortgeschritten. Gremien wie die IEC (International Electrotechnical Commission), ANSI (National Electrical Manufacturers Association), ETSI (European Telecommunications Standards Institute) oder die Emerge Alliance befassen sich aber seit geraumer Zeit mit dieser Thematik.

Es gibt Anzeichen dafür, dass sich eine Gleichspannung von 380V zum Standard in der Versorgung und Verteilung innerhalb von Infrastrukturbauten entwickeln könnte.

Die EMerge Alliance ist ein offener Industrieverband, der sich die schnelle Einführung einer sicheren Gleichstromverteilung in kommerziellen Gebäuden durch die Entwicklung von Standards zum Ziel gesetzt hat.

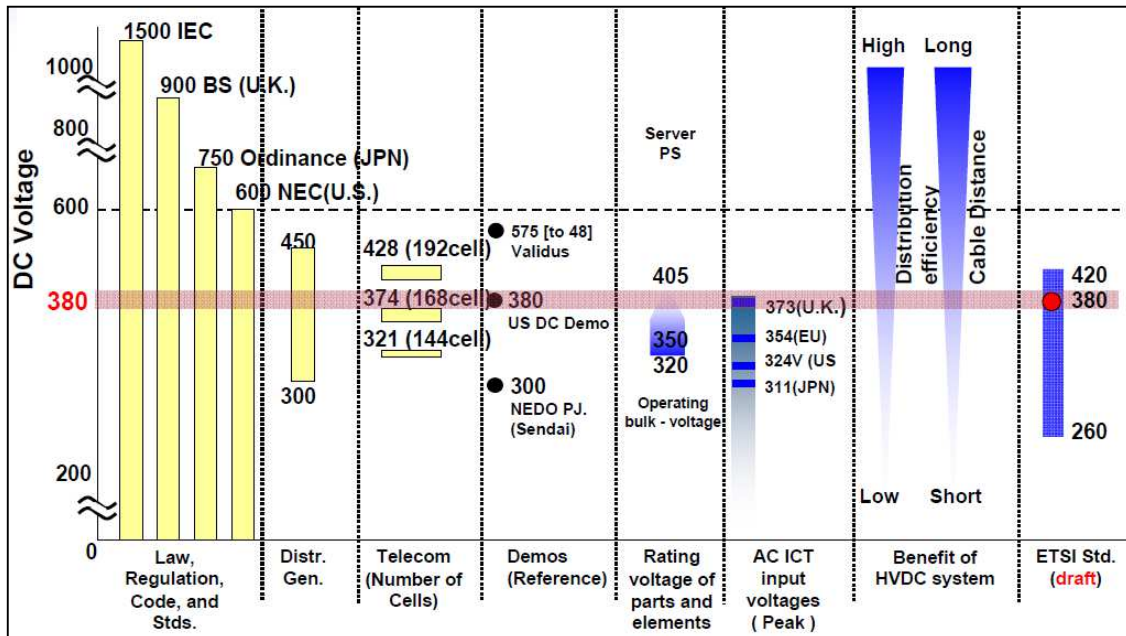


Abbildung 18: Vergleich der Gleichspannungslevels verschiedener Anwendungsbereiche
(Quelle: NTT Facilities Inc.)

Die Verwendung von Gleichstrom in Rechenzentren setzt eine breite Anerkennung von der gesamten Industrie voraus. Dies beinhaltet die Informatik, Klima/Lüftung, Gebäudeinstallation, etc. Heute haben wir eine limitierte Anzahl von Anbieter für Geräte und Hardware mit DC Einspeisung. Aber die Anzahl der Hersteller und Lieferanten für IT, HLK mit 380 bis 400 VDC Geräten nimmt konstant zu.

Zusammenfassung der Vor- und Nachteile bei Verwendung der Gleichstromtechnik

Eine ausgewogene, fakten-basierende Evaluation von AC- und DC-Technologien muss alle Aspekte von Planungskosten, über Baukosten, bis hin zu Betriebs- und Wartungskosten berücksichtigen. Darüber hinaus müssen die Systemarchitektur und die Verfügbarkeit analysiert und verglichen werden.

Es gibt verschiedene Ansätze, Rechenzentren ökologischer zu gestalten; die Gleichstromtechnologie ist nicht der einzige Weg, um dieses Ziel zu erreichen. Weitere Ansätze bieten der Standort und das Design des Rechenzentrums, technische Fortschritte bei den Servertechnologien und der Kühlung, eine bessere Auslastung und operationelle Philosophien. Grundsätzlich führt eine Optimierung, die sich nur auf einzelne Komponenten beschränkt, eher zu einem suboptimalen Gesamtsystem. Der Schlüssel zum Erfolg liegt in der Betrachtung des Gesamtsystems einschließlich des Zusammenspiels zwischen den Besitzern/ Betreibern von Rechenzentren und deren Hardwarelieferanten.

Für optimale Resultate müssen Rechenzentren ganzheitlich betrachtet und durchgängig geplant werden – von der Netzeinspeisung bis zum Server und im Zusammenspiel zwischen den Besitzern/ Betreibern von Rechenzentren und deren Hardwarelieferanten.

Es gibt Anwendungen, bei denen Wechselstrom geeigneter ist.

In kleineren Rechenzentren mögen die Einsparungen zudem nicht hoch genug sein.

Einsatz und DC-Mikro-Netze

Weiteren Schwung erhält diese Technologie aber auch bei der Betrachtung des Rechenzentrums als DC-Mikronetz, das entweder parallel zum Stromnetz oder vollkommen autonom funktionieren kann. Durch Wegfall unzähliger Umwandlungen werden Zusammenschaltung und Kompatibilität von erneuerbaren Energiequellen (Fotovoltaik, Wind etc.), Energiespeicherung (Batterien) und Verbrauchern im Rechenzentrum vereinfacht und Effizienz, Sicherheit und Zuverlässigkeit stark verbessert. Die Idee des Rechenzentrums als Mikronetz ist übrigens nicht länger Vision – es gibt bereits erste Ansätze und Projekte in diesem Zusammenhang.

5.4 Quantitative Ermittlung der Energieeinsparung anhand eines Praxisbeispiels

Rechenzentren eignen sich besonders für eine Versorgung mit Gleichstrom, da sie eine Vielzahl identischer oder zumindest ähnlicher Verbraucher (Server, Netzwerkkomponenten, Speicher usw.) enthalten, was die Zahl der erforderlichen Spannungsniveaus reduziert. Im Jahr 2011 beschloss die Green Datacenter AG, die Betreiberin des Rechenzentrums geschäfts des Internetproviders green.ch, die 1.100-m²-Erweiterung ihres 3.300 m² großen Rechenzentrums in Zürich-West mit Gleichstromtechnik auszurüsten.

Die quantitative Ermittlung der Energieeinsparung wird anhand der ersten Ausbaustufe vom Jahr 2011 erläutert. Dieses Konzept der DC – Verteilung wurde speziell für dieses Rechenzentrum bereitgestellt. Dabei handelt es sich um eine kunden- und projektspezifische Lösung, die in dieser Form nicht standardisiert wurde.

Das Rechenzentrum wird mit drei Wechselstromsträngen sowie einem Gleichstromstrang versorgt (hybrid). Aufgrund dieser Hybriden-Architektur konnten problemlos Vergleichsmessungen anhand zweier unterschiedlichen Technologien durchgeführt werden.

Der prinzipielle Aufbau der DC-Versorgung bei Green.ch

Das DC-Versorgungssystem ist auf eine Leistung von ca. 1 MW ausgelegt. Die Netzeinspeisung erfolgt redundant durch das lokale Energieversorgungsunternehmen (EVU) auf der 16-kV-Mittelspannungsebene von zwei unabhängigen Unterwerken. Diese Einspeisungen werden zusammen mit der Notstrom-Einspeisung eines Dieselgenerators auf eine gasisolierte Mittelspannungs-Schaltanlage vom Typ ABB ZX0 geführt. Ein Leitsystem vom Typ Tanomat sorgt automatisch dafür, dass abhängig vom Betriebszustand (Normalbetrieb, Notstrombetrieb, Testbetrieb, Rückspeisung ins Netz) die richtigen Schalter in die richtige Stellung gebracht werden.

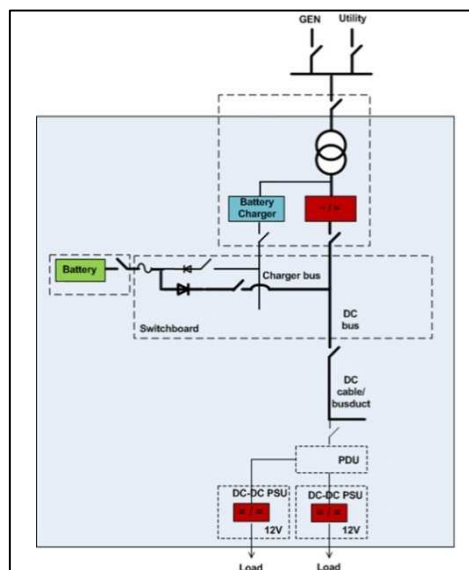


Abbildung 19: Prinzip-Schema der DC-Stromversorgung bei Green.ch (Quelle: ABB Schweiz AG))

Der 3-Wicklungs-Trockentransformator mit einer Scheinleistung von 1.100 kVA transformiert die Spannung von 16 kV auf ein Niederspannungsniveau. Zwei parallele, thyristorbasierte 6-Puls-Gleichrichtermodule vom Typ ABB DCS800 sorgen anschließend für die eigentliche Gleichrichtung. Dieser Schritt erfolgt jeweils einmal für die Energieversorgung der Server (Hauptversorgung) und für die Ladung der Batterien, die bei voller Leistung eine Autonomiezeit von rund 10 Minuten garantieren.

Die Gleichrichtermodule sind ausgangsseitig in Reihe geschaltet. Dies erlaubt einen Mittelpunktabgriff, der auf Erde gelegt werden kann. Damit ergibt sich ein Dreileiter-System mit den Leitern L+ (+200 V), M und L– (–200 V), wobei die Verbraucher zwischen L+ und L– geschaltet werden.

Die nachfolgende Niederspannungs-Schaltanlage vom Typ ABB MNS® hat zwei Funktionen: Zum einen stellt sie die Schnittstelle zu den Batterien dar, und zum anderen dient sie der Verteilung der Energie an die sogenannten PDUs (Power Distribution Units) vom Typ MNS iS, die sich direkt neben den IT-Räumen befinden und eine Art Unterverteilung bilden. Die MNS-Schaltanlage ist für eine Betriebsspannung von 400 V DC und einen maximalen Dauerstrom von 3.000 A und die maximale Bemessungsstoßstrom-Festigkeit von 65 kA ausgelegt.

Zwei redundante 400-V-Gleichstrom-PDUs vom Typ MNS iS verteilen die Energie innerhalb der IT-Räume und speisen schließlich die Server.

Den Abschluss der Energieversorgungskette bildet ein Rack mit verschiedenen Industriestandard-Servern. Ein Aufbau mit einem HP X1800 G2 Netzwerkspeichersystem, vier HP ProLiant DL385 G7 Servern, einem c3000 Blade-System mit drei Blades vom Typ HP BL465c G7 CTO und einem HP 5500-24G DC EI Switch dient zu Demonstrationszwecken, wobei ABB einige Anwendungen darauf betreibt, um die Kapazität zu nutzen.

Ergebnisse eines Praxisbeispiels anhand der durchgeführten Vergleichsmessung

Durch empirisches Untersuchen beim Green Rechenzentrum ergaben sich folgende Ergebnisse (Tabelle 18) bei unterschiedlichen Lastpunkten der Versorgungsstränge mit Wechselstrom bzw. Gleichstrom-Architektur.

Belastung der Versorgungsstränge [%]	Belastung der Versorgungsstränge [kW]	AC Effizienz [%]	DC Effizienz [%]	Verbesserung [%]
20	160	79.9	89.9	12.5
30	240	82.5	90.6	9.8
40	320	84.0	90.8	8.1
60	480	85.1	91.1	7.1
80	640	84.9	91.0	7.2
100	800	N/A	90.7	N/A

Tabelle 18: Energie-Effizienz bei unterschiedlichen Lastpunkten / Kühlung vernachlässigt (Quelle: ABB Schweiz AG)

Folgende wichtige Faktoren sind bei der Vergleichsmessung zu erwähnen:

- Die gemessenen Werte in Spalte AC 1 wurden gemessen bei einem Wirkungsgrad des Transformators bei 99.5% sowie Servernetztes AC von 94%.
- Die durchschnittliche Last der Server wurde zwischen 40 % und 60 % angenommen. Durch die redundante Versorgung (A und B) teilt sich die Last demnach auf die beiden Versorgungsstränge auf (20-30 %).
- Fehlerbalken sind in der durchgeführten Vergleichsmessung vernachlässigt worden. Messungen in der Praxis sind immer gewissen Ungenauigkeiten ausgesetzt, sei es durch die eingesetzten Sensoren oder durch die verwendeten Messgeräte. Dies kann sowohl eine negative als auch eine positive Auswirkung auf die Messresultate haben.

- Effizienz von Server Netzteilen
Gemäss namhaften Herstellern wie (HP, Avnet, etc.) sind Schmalband-DC-Netzteile mindestens 3 % effizienter als handelsübliche AC-Netzteile. Bei der durchgeführten Vergleichsmessung wurde ein AC Netzteil mit 94% und ein DC Netzteil mit 97% Wirkungsgrad eingesetzt.
- Der eingesetzte Transformator MV/LV war eine Einzelanfertigung mit einem Wirkungsgrad von 99.5%.

Wie die Messwerte in der obigen Tabelle zeigen, ist der Wirkungsgrad bei der Gleichstrom-Versorgung konstant, auch bei unterschiedlichen Lastpunkten der Server. Im Gegensatz dazu bei der Wechselstrom-Versorgung ist der Wirkungsgrad bei tiefer Belastung gering und steigt sich erst einer höheren Belastung des Servers. Mit der Annahme, dass sich die durchschnittliche Last der Server zwischen 40% bis 60% bewegt, kann gesagt werden, dass sich die Energieeffizienz von der Netzeinspeisung bis zum Server (einschließlich Servernetzteil) sich je nach Last um 10% verbessert.

Weitere Resultate aus dem Projekt Green.ch

Die Diskussionen über die Vorteile einer Gleichstromversorgung in Rechenzentren werden oft auf die Energieeffizienz reduziert, was nicht selten zu kontroversen Ansichten führt. Tatsache ist, dass die Effizienz von der Netzeinspeisung bis zum Server während die anderen Vorteile von Gleichstrom nur selten erwähnt werden. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden.

- 7.1 % bis 12.5% verbesserte Energieeffizienz (ohne Berücksichtigung des reduzierten Bedarfs an Kühlleistung im IT-Raum)
- 15 % niedrigere Investitionskosten für die elektrischen Komponenten der Stromversorgung des Rechenzentrums
- 25 % geringerer Platzbedarf für die elektrischen Komponenten der Stromversorgung des Rechenzentrums

Wenn weniger Komponenten eingesetzt werden, erhöht sich zudem die Zuverlässigkeit, und die Wahrscheinlichkeit eines menschlichen Fehlverhaltens wird reduziert. Die Kosten für Installation, Betrieb und Wartung sinken ebenfalls aufgrund der einfacheren Architektur und der reduzierten Ausstattung.

Die Einsparungen bei den Installationskosten liegen um 20 %.

Dieser Wert basiert auf den im Projekt gewonnenen Erfahrungen.

Zu den Betriebs- und Wartungskosten können momentan noch keine qualifizierten Aussagen gemacht werden.

Eine ausgewogene, auf Fakten basierende Evaluation von Gleichstrom- und Wechselstromsystemen muss alle Aspekte von Planungskosten über Baukosten bis hin zu Betriebs- und Wartungskosten berücksichtigen.

Intensive Forschung und Weiterentwicklung an den elektrischen Komponenten im Bereich der Gleichstromversorgung haben gezeigt, dass noch deutliches Potential zur weiteren Effizienzsteigerung existiert.

6 Stromeinsparung Gesamtbetrachtung

6.1 Kombination der Massnahmen

In den vorherigen Kapiteln wurde das Stromeinsparungspotential im Bereich IT und im Bereich Stromumwandlung betrachtet. In der Tabelle 19 ist die Übersicht der einzelnen Massnahmen und Komponenten aufgelistet. In der Tabelle 20 sind ebenfalls die Stromeinsparungspotentiale innerhalb der einzelnen Komponenten dargestellt. Die Werte basieren auf durchgeführten Projekten und/oder auf theoretischen Berechnungen von der In&Out AG, der IBM Schweiz AG sowie der ABB Schweiz AG.

Komponente	Massnahme Nummer	Massnahme Bezeichnung	Stromeinsparung innerhalb der Komponente
Server	1	Virtualisierung / Konsolidierung	38% - 96%
Storage	2	SSD + HDD (+ Thinprovisioning)	54% - 72%
	3	Komplette Flashspeichertechnologie	bis 90%
Backup	4	Bandbasiertes Backupsystem	bis 94%
Stromversorgung	5	Gleichstromtechnologie	10.3% - 17.8%

Tabelle 19: Übersicht des Stromeinsparungspotentials innerhalb der einzelnen Komponenten

Die betrachteten Komponenten sind nicht komplett entkoppelte Systeme. Zum Beispiel wird eine Stromreduktion im Bereich IT auch den absoluten Strombedarf im gesamten RZ senken, was auch die Umwandlungsverluste im Bereich der Infrastruktur reduziert. Eine Strombedarfsreduktion im Server muss nicht zwingend auch den Storage-Bedarf und deren Stromverbrauch reduzieren. Um eine allgemeine Aussage für die Schätzung treffen zu können treffen wir folgende Annahmen:

- Die betrachteten IT-Komponenten Server, Storage und Backup sind komplett entkoppelt
- Bei den Umwandlungsverlusten wird nur Strom betrachtet, welcher von der IT gebraucht wird (PUE-Wert spielt keine Rolle)
- Verhältnis des Stromverbrauchs zwischen einzelnen Komponenten entsprechen dem Messwert aus der Abbildung 3, was in der Tabelle 20 dargestellt ist

Komponente	Anteil [%]
Server	47.80%
Storage	24.67%
Netzwerk	15.32%
Backup	12.21%

Tabelle 20: Aufteilung des Energieverbrauchs nach Komponenten im IT-Bereich

Für die Übersicht werden die kumulierten Umwandlungseffizienz-Faktoren aus der Abbildung 17 nach best- und worst-case von AC- und DC-RZ in der Tabelle 20 dargestellt.

Für die Betrachtung der gesamten Stromeinsparungen, bei welchen die Massnahmen kombiniert sind, betrachten wir ein Beispiel RZ mit einer IT-Leistung von 100 kW. In der Tabelle 22 sind die Stromverbräuche der IT-Komponenten und die dazu benötigten

Umwandlungsverluste dargestellt. Die Umwandlungsverluste stellen den best- und worst-cases-Fall dar, welche auf den Effizienz-Faktoren der AC-Rechenzentren in der Tabelle 21 basieren.

Architektur	Effizienz - Faktor
AC - worst	0.7853
AC - best	0.9026
DC - worst	0.8753
DC - best	0.9556

Tabelle 21: Best- und worst-case Effizienz-Faktoren Stromumwandlung

Wenn der Fall mit der niedrigsten Umwandlungseffizienz von 0.7853 verwendet wird, beträgt der Umwandlungsverlust für 100 kW IT-Leistung insgesamt 27.34 kW. In diesem Fall beträgt der gesamte Stromverbrauch 127.34 kW, was als Basis für den Vergleich verwendet wird.

Komponente	Durchschnittsleistung [kW]
Server	47.80
Storage	24.67
Netzwerk	15.32
Backup	12.21
Umwandlungsverluste	10.79 - 27.34

Tabelle 22: IT-Leistung nach Komponenten mit konventionellen Technologien (Summe 100kW) und dafür verursachten Umwandlungsverluste (best und worst AC)

In der Abbildung 20 sind theoretische Berechnungen der einzelnen und kombinierten Massnahmen für die Reduktion der IT-Leistung dargestellt. Die Massnahmen entsprechen Nummer 1 - 4 in der Tabelle 19, d.h. die Massnahme "Umstellung von Wechselstrom auf Gleichstrom" ist nicht berücksichtigt. Logischerweise, ist erkennbar, dass die Umwandlungsverluste trotzdem sinken, weil durch eine Reduktion im Bereich IT auch eine Reduktion in der Infrastruktur verursacht wird.

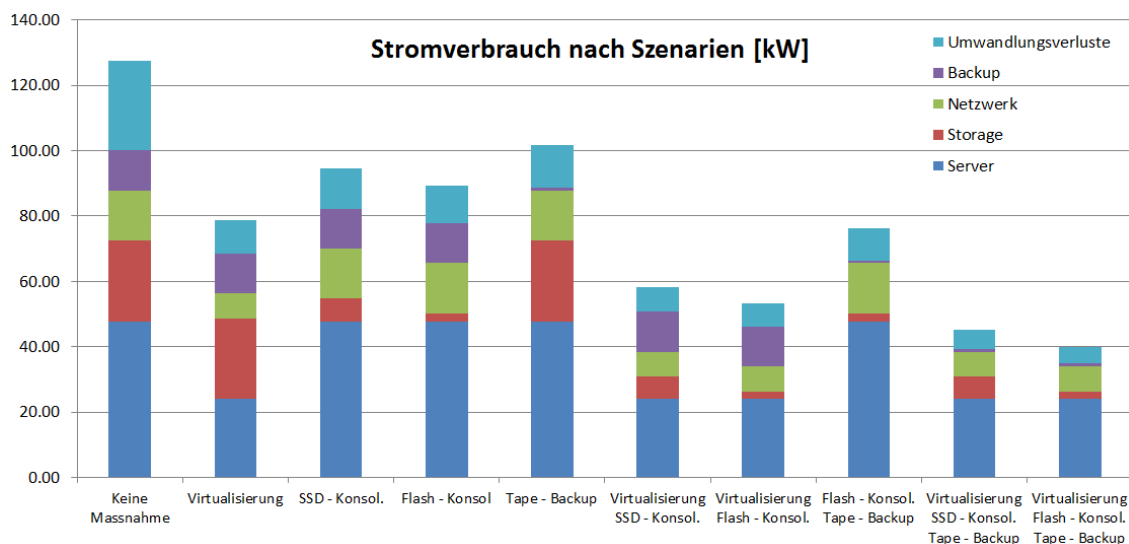


Abbildung 20: Kombination der Massnahmen für Stromeinsparung

Bei den Berechnungen wurde eine Stromeinsparung durch Virtualisierung von 50%, durch SDD und Thinprovisioning 54%, durch Flashspeicher 90% und durch den Einsatz eines bandbasierten Backupsystems 94% innerhalb der jeweiligen Komponente angenommen. Wir

sehen, dass je Kombination der Massnahmen der Gesamtverbrauch von 127.34 kW bis zu 39.95 kW gesenkt werden kann.

Dies entspricht einer Stromeinsparung bis zu 65.24%. In der Abbildung 21 sind die theoretischen Stromeinsparungen in Prozent dargestellt. Mit unseren Annahmen liegen die Werte zwischen 11.48% beim Umstieg von diskbasierten auf bandbasierte Backupssysteme und 65.24% bei einer Kombination von Optimierung Virtualisierung und Konsolidierung und Umstieg von HDD auf komplette Flashlösungen und bandbasierten Backupssystemen.

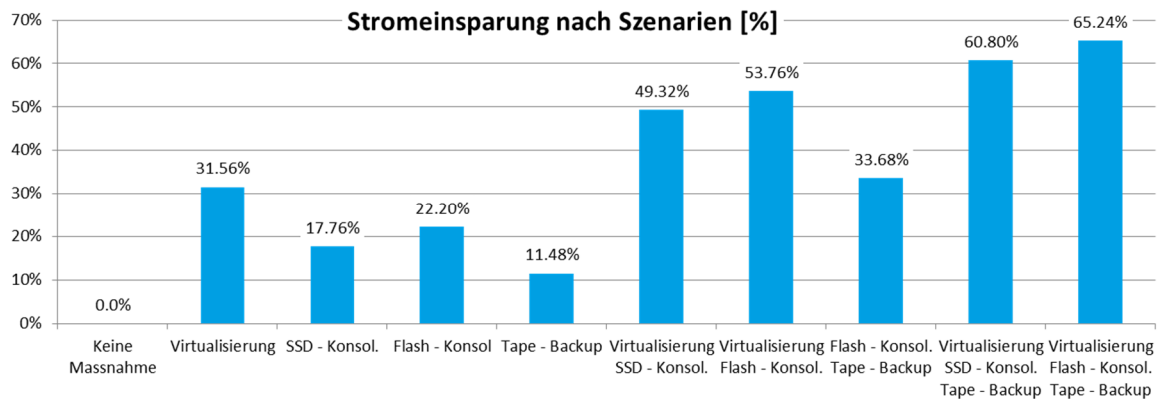


Abbildung 21: Gesamtstromeinsparung bei Kombination der Massnahmen

Bei einer Berücksichtigung der effizienten Umwandlung der Stromversorgung durch Umstellung von AC auf DC Rechenzentrum sind noch zusätzlich bis zu 17.8% Stromeinsparung möglich. Dies korrigiert das Gesamteinsparungspotenzial auf einen Wert zwischen 20.10% bis 68.62%. Das kommt zurzeit nur für neue Rechenzentren in Frage, da eine Umstellung auch Standardschnittstellen auf der gesamten Architekturebene benötigt. Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass sich dies ändern kann.

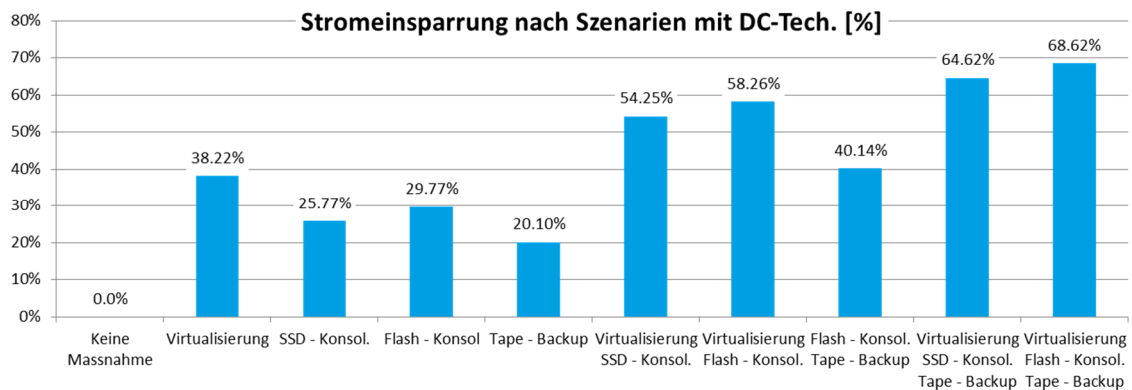


Abbildung 22: Gesamtstromeinsparung bei Kombination der Massnahmen und Umwandlungseffizienz

6.2 Rechenbeispiel für Gesamteinsparung

Bei der Reduktion der IT-Leistung wird als Nebeneffekt auch weniger Wärme produziert, die abgeführt (gekühlt) werden muss. Bei diesem Phänomen wird betrachtet, dass bei gleichbleibenden PUE-Wert, d.h. es findet keine Effizienzsteigerung in der Infrastruktur statt, der absolute Strombedarf für die Kühlung sinkt. In [1] wurde gezeigt, dass der durchschnittliche PUE-Wert in der Schweiz bei 1.8 liegt.

In der nachfolgenden Abbildung (Abbildung 23) ist ein Rechenbeispiel für ein Rechenzentrum mit 100 kW IT-Leistung und einem PUE-Wert von 1.8, resp. 180 kW Gesamtleistung,

dargestellt. Der unterste Balken stellt die Ausgangslage dar. Bei einer Reduktion der IT-Leistung um 50% werden 50 kW bei der IT-Leistung und zusätzlich 40 kW bei der Infrastruktur reduziert. Die gesamte Leistungsreduktion beträgt somit 90 kW (dritter Balken von unten).

Mit modernen Methoden zur Verbesserung der Infrastruktur ist es möglich in den Rechenzentren den PUE-Wert auf 1.35 zu reduzieren [1]. Bei diesen Massnahmen werden zusätzlich 25 kW Leistung in der Infrastruktur reduziert. Somit erreichen wir bei diesem Beispiel insgesamt 115 kW Leistungsreduktion, was einer relativen Einsparung von 63.9% entspricht.

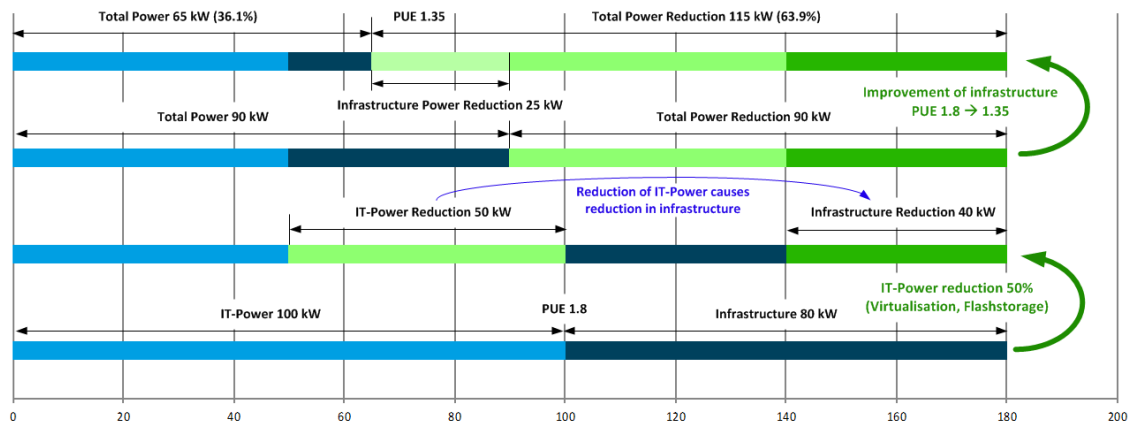


Abbildung 23: Rechenbeispiel für Gesamtstrom einsparung und Reduktion des PUE-Wertes (Amstein+Walthert AG, Eindarstellung)

Aus diesem Rechenbeispiel wird ersichtlich, dass die Effizienzsteigerung bei der IT-Leistung einen grösseren Einfluss auf das Gesamtsystem hat, als die energetische Optimierung der Infrastruktur. Andererseits kann die Verbesserung der Infrastruktur (PUE-Wert) unabhängig von der IT-Architektur durchgeführt werden, während für Optimierungen bei der IT-Hardware teilweise grundlegende strategische Entscheide im Unternehmen erforderlich sind.

6.3 Zusätzliche Möglichkeiten zur energetischen Optimierung

In diesem Kapitel sind zusätzliche Möglichkeiten zur Reduktion der Leistungsaufnahme von IT-Komponenten zusammengestellt. Diese Auflistung ist sicherlich nicht abschliessend, da kontinuierlich neue Technologien auf den Markt kommen.

Aufgrund ungenügender Daten können zum heutigen Zeitpunkt nicht alle der aufgeführten Massnahmen mit konkreten oder gefestigten Kostenauswirkungen und Reduktionsfaktoren unterlegt werden.

Die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Möglichkeiten werden an dieser Stelle nicht wiederholt. Weiterhin werden weitere Möglichkeiten bei Server, Storage und Backup nur kurz beschrieben.

Server

- Effiziente Nutzung der Server durch Weglassen von Komponenten. Facebook [8] trimmte seine Server indem die nicht notwendigen Komponenten (z. B. Grafikkarten, optische Laufwerke für CD oder DVD etc.) in einem Server entfernt wurden. Dabei konnte eine Reduktion der Energieaufnahme von 38% erreicht werden. Dies ist eine Möglichkeit, besser wäre aus unserer Sicht, die Komponenten schon gar nicht erst einzubauen.

Storage

- Löschen von alten und unnötigen Daten: Über den Einsatz eines Information Management System sollte u.a. festgelegt werden, welche Daten wo und wie lange abgelegt (und dann auch wirklich gelöscht) werden (vgl. [9]).

- Eindämmung des Daten-Wachstums I: Wie ein vom Vorgesetzten versandtes E-Mail mit einer angehängten Datei existiert diese nun auch bei allen Mitarbeitern und beansprucht (bei mangelhaftem IMS) den Storage mehrfach. In der Konsequenz wird das Storage-System schneller gefüllt und muss früher erweitert werden, was neben der Investition zu einem höheren Leistungsbedarf führt. Dem kann mit einem IMS entgegenwirkt werden. Das Reduktionspotential schätzen wir auf 30% bei unstrukturierten Daten.
- Eindämmung des Daten-Wachstums II: Daten werden aus betrieblichen Gründen an mehreren Orten, oft in zwei unterschiedlichen Rechenzentren identisch abgelegt. Es ist zu prüfen, ob dies für alle Daten der Fall sein muss. Wir schätzen das Reduktionspotential auf konservative 20%.

Backup

- Trennung Backup und Archiv: Für beide Arten der Aufbewahrung sollten für den jeweiligen Zweck optimierte Systeme eingesetzt werden. ein wesentlicher Aspekt ist auch hier, dass nur die Daten (im entsprechenden System) aufbewahrt werden sollten wie auch nötig.

Netzwerk

- Reduktion der Anzahl Gerätschaften: Für die Erschliessung der IT-Komponenten wird oft in jedem Rack zuoberst ein Netzwerkschwitch installiert. Dabei bleiben durch die limitierte Anzahl von IT-Komponenten in einem Rack Anschlüsse unbelegt u.a. als Reserve für geschätztes Wachstum. Eine Massnahme zur Reduktion des Energieverbrauches wäre, nur noch in jedem zweiten Rack eine solche Netzwerkkomponente einzubauen. Dagegen spricht oft die anzupassende Verkabelung (längere Kabel bedeuten höhere Investitionskosten). Wir schätzen das Reduktionspotential auf 20%.
- Bessere Ausnutzung von Netzwerk-Systemen: Analog zum vorherigen Punkt sollten die verwendeten Netzwerkkomponenten besser ausgenutzt sein, d.h. zuerst sollten die leeren Anschlüsse belegt werden, bevor eine weitere Netzwerkkomponenten (mit Wachstumsreserve) hinzugefügt wird. auch hier schätzen wir das Reduktionspotential des Energieverbrauches auf 20%.
- Reduktion der Netzwerke: Während Anwender-PC und Server im LAN / MAN / WAN über das Internet-Protocol kommunizieren, tauschen Storage-Systeme miteinander und mit Servern Daten via SAN über das Fibre-Channel-Protokoll aus. Dabei sind in grösseren Netzwerken LAN / MAN / WAN und das SAN als physisch unterschiedliche Netzwerke realisiert. Um in den jeweiligen Netzwerken kommunizieren zu können, müssen Server, Storage- & Backup-Systeme, aber auch Netzwerkkomponenten mit spezifischen Adaptern versehen sein. So ist beispielsweise ein Server mit zwei Adaptern für das LAN und zwei Adaptern für das SAN (zwei Adapter aus Redundanzgründen) versehen. Hier besteht die Möglichkeit, sogenannte konvergierte Netzwerkadapter (CNA) einzusetzen. Sofern der notwendige Durchsatz und weitere funktionale Aspekte abgedeckt werden, könnten im genannten Beispiel nur noch zwei konvergierte Netzwerkadapter anstelle der vier spezifischen Adapter eingesetzt werden. Da seitens Weltmarktführer Qlogic keine Angaben zu dem Energieverbrauch eines Adapters bereitgestellt werden, kann anhand des aufgeführten Beispiels dennoch erkannt werden, dass alleine durch die antizipierte Halbierung der Anzahl Adapter eine Reduktion des Energieverbrauches von 50% erwartet werden.

Organisatorische oder prozessuale Möglichkeiten und Massnahmen

Ein wesentlicher Aspekt zur Reduktion der Leistungsaufnahme von IT-Komponenten ist, dass an den Komponenten nicht nur einzeln sondern in Kontext mit dem Rechenzentrum oder innerhalb der gesamten Organisation optimiert werden kann. Mögliche Massnahmen sind:

- Vermeidung von (organisatorischen) Informatik-Inseln: In grossen Organisationen existieren für die verschiedenen Organisationseinheiten individuelle IT-Abteilungen, die über ihre eigene IT-Infrastruktur verfügen. Das Zusammenführen solcher Inseln würde zu einer Reduktion führen (vgl. [9])

- Das Herunterfahren von nicht benötigten IT-Komponenten:
 - Analog wie bei einem Büroarbeitsplatz, könnten IT-Komponenten am Wochenende oder über Nacht heruntergefahren werden. Leider betrifft dies in einer heutigen Welt mit 7x24 Stunden Verfügbarkeit nur noch sehr wenige Systeme. Hier ergeben sich durch die Virtualisierung und Konsolidierung keine Vorteile, da das Herunterfahren einer virtuellen Maschine kaum effektiv etwas (Messbares) bewirkt. Kann dies jedoch auf physische Server oder in signifikantem Masse erfolgen, dürfte sich dies dennoch auswirken. Hierzu könnte (in einer weiteren Studie) das Potenzial erhoben werden.
 - Obwohl eine IT-Komponente durch seinen Nachfolger abgelöst wurde und nicht mehr aktiv in Nutzung ist, bleiben diese alten IT-Systeme oft noch Tage oder Wochen, wenn nicht Monate in Betrieb. Die Gründe sind unterschiedlich, zum Teil wird das IT-System zweckentfremdet und weiterhin eingesetzt. Über einen entsprechenden Prozess sollte darauf geachtet werden, dass diese alten IT-Systeme auch entsorgt werden. Wir schätzen, dass ca. 5% solcher Systeme bestehen.
- Präzise Grössenbestimmung und Mengengerüste
 - Wie sich in den vorherigen Kapiteln zeigte, zeigen sich durch geeignete Vorarbeiten bei der Dimensionierung von IT-Komponenten grosse Potentiale zur Reduktion. In den IT-Organisationen sollten die entsprechenden Prozesse angepasst werden, dass z. B. geprüft wird, ob nicht noch auf einem bestehenden IT-System Kapazitäten vorhanden sind oder „übertriebene“ Sicherheitsreserven eingerechnet sind.
- Korrelierend aus den vorherigen Möglichkeiten sollte eine aktive Kapazitätsplanung etabliert werden, die kontinuierlich darauf bedacht ist, das Optimum der bestehenden IT-Komponenten herauszuholen.

7 Kühltechnik und Abwärmenutzung

Die Nutzung der thermischen Abwärme eines Rechenzentrums ist ein Teilprozess der gesamten peripheren Energiebilanz für die IT- und Elektrotechnik.

Dies bedeutet, dass der elektrische Energiebedarf, welche für die IT- und Elektrotechnik in einem Rechenzentrum benötigt und vollständig in thermische Energie umgewandelt wird, durch einen zusätzlichen Einsatz von elektrischer Energie zur Kühlung der technischen Komponenten ergänzt wird.

Zur Bewertung der gesamten Energieeffizienz in einem Rechenzentrum wird der PUE-Wert verwendet. Der PUE-Wert setzt die insgesamt in einem Rechenzentrum verbrauchte Energie mit der Energieaufnahme der IT-Technik ins Verhältnis. Bei einem Rechenzentrum, bei dem für die Kühlung beispielsweise die Hälfte des Gesamtenergieverbrauchs benötigt wird, beträgt der PUE-Wert ">2.0". Je effizienter der infrastrukturelle Energieeinsatz zur Kühlung der IT-Hardwarekomponenten ist, desto kleiner ist der PUE-Wert, welcher sich dem Wert "1.0" annähert. Ein PUE-Wert von 1.3 bedeutet, dass 30% der eingesetzten Energie für die Infrastrukturanlagen (Kühlung etc.) des Rechenzentrums verwendet werden.

Der gesamte Prozess für die Abwärmenutzung gliedert sich in die folgenden drei Teilprozesse:

- Aufnahme der thermischen Energie an der Wärmequelle
- Transport der thermischen Energie zwischen Wärmequelle und Nutzungsort
- Nutzung der thermischen Energie in einem Prozess

Die Aufnahme der thermischen Energie erfolgt in einem Rechenzentrum an den verschiedenen Wärmequellen (z.B. Prozessoren und Speichermodule) durch einen Luftvolumenstrom, welcher durch an den IT-Komponenten vorbeiströmt und die sensible Kühllast aufnimmt. Eine weitere Möglichkeit zur Aufnahme der thermischen Energie ist die direkte Kühlung mit einem Fluid (z.B. Wasser oder Öl), welches durch einen Wärmeübertrager an der Wärmequelle vorbeigeleitet wird und die thermische Energie aufnimmt. Diese Varianten der Kühltechnik sind im Kapitel 7.1.2 beschrieben.

Die thermische Energie wird von dem Medium, mit welchem die Wärme an der Quelle aufgenommen wird, in der Regel auch bis zum Standort der Nutzung transportiert. Bei einer Kühlung mit Luft wird die Energiemenge demzufolge mit Luft und bei einer direkten Fluidkühlung mit einer Flüssigkeit bis zum Standort der Nutzung transportiert.

Die Entfernung zwischen der Energiequelle und dem Nutzungsort hat somit ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf die Effizienz der gesamten Abwärmenutzung. Einerseits sind die Wärmeverluste infolge Transmission durch die Aussenwand der Transportleitungen (Kanäle bzw. Rohre) und andererseits die Druckverluste für den Mediumtransport massgebend.

Ein Transport der thermischen Energie mit einem Fluid ist somit aufgrund der wesentlich geringeren Volumenströme des Transportmediums (Minderung der Druckverluste) und der kleineren äusseren Leitungsoberflächen (Rohroberfläche im Vergleich zur Kanaloberfläche) effizienter, als der Wärmetransport mit Luft.

7.1 Kühltechnik zur Energieaufnahme und Energietransport

7.1.1 Wärmeübergang und Wärmetransport

Bei der Nutzung von Abwärme aus einem Rechenzentrum ist die Aufnahme der thermischen Energie an der Wärmequelle von entscheidender Bedeutung. Der Wärmestrom der thermischen Energie, welche von der Wärmequelle auf das Transportmedium übertragen wird, berechnet sich nach der folgenden thermodynamischen Formel:

$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot \Delta\vartheta$$

$\dot{Q}$: Wärmestrom (W)

α : Wärmeübergangskoeffizient ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

A : Wärmeübertragungsfläche (m^2)

$\Delta\vartheta$: Temperaturdifferenz (K)

Aus der Berechnungsformel ist ersichtlich, dass der Wärmestrom direkt proportional zur Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle und dem Transportmedium, der Übertragungsfläche sowie dem Wärmeübergangs-koeffizienten des Transportmediums ist.

Der Vergleich zwischen den Wärmeübergangskoeffizienten der Transportmedien "Luft" und "Wasser" für den Transport von thermischer Energie in einem Rechenzentrum ist in dem Abbildung 24 für eine längsangeströmte Platte (z.B. Prozessoroberfläche) dargestellt. Erkennbar ist der wesentliche effizientere Wärmeübergang bei dem Transportmedium Wasser, welches bei einer Anströmgeschwindigkeit von 1.0 m/s mit $4000.0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ einen 500-fach höheren Wert gegenüber dem Transportmedium Luft mit $8.0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ aufweist.

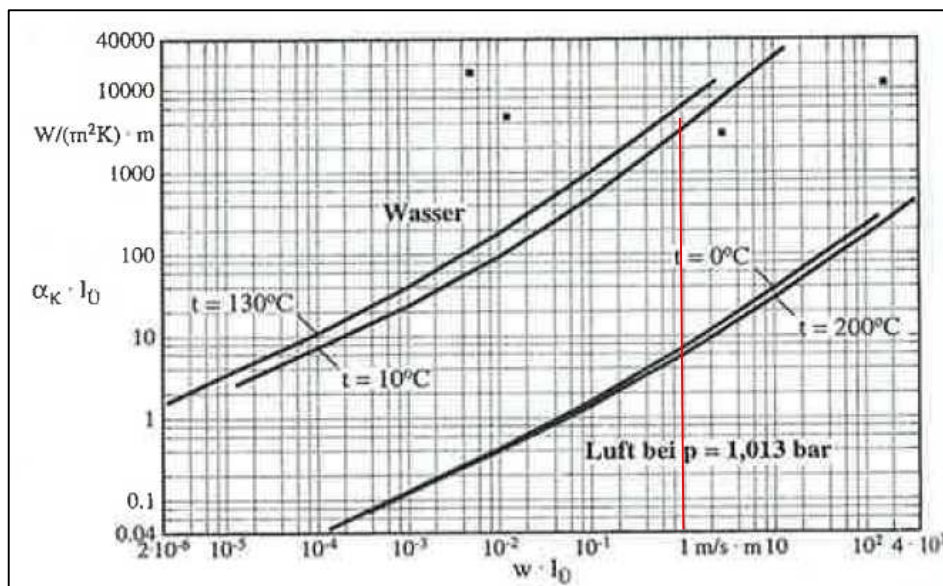


Abbildung 24: Wärmeübergangskoeffizienten an längsangeströmten Platten [10]

In dem Abbildung 25 ist die Abhängigkeit des Wärmeübergangskoeffizienten für das Transportmedium Luft dargestellt. Aus diesem Diagramm ist ersichtlich, dass die Effizienz der Wärmeübertragung von der Wärmequelle auf das Transportmedium Luft von der Anströmgeschwindigkeit abhängig ist und mit zunehmender Anströmungsgeschwindigkeit ansteigt. Bei einer Verdoppelung der Strömungsgeschwindigkeit von 1.0 m/s auf 2.0 m/s steigt die Effizienz der Wärmeübertragung um ca. 70% (von $5.0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ auf $8.5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$) an.

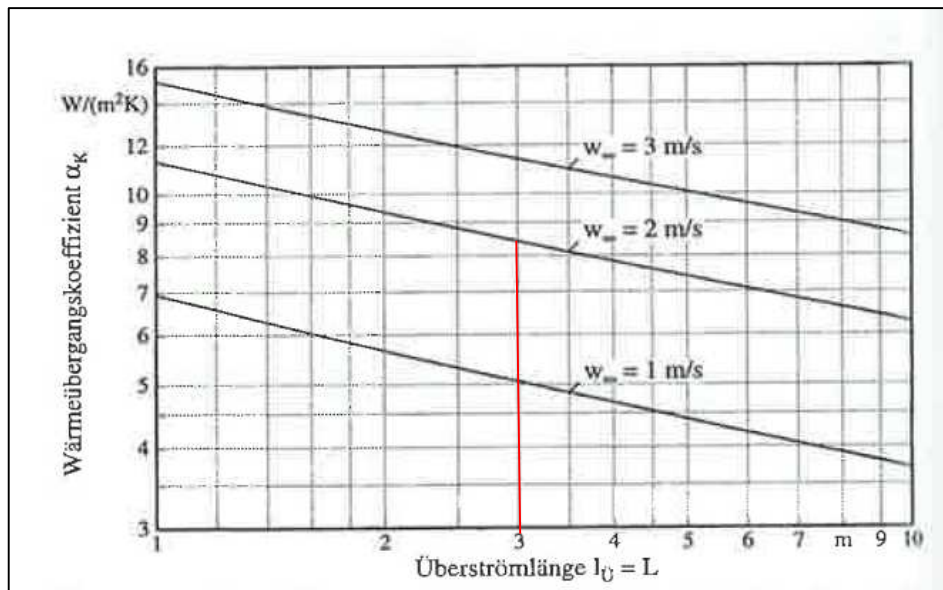


Abbildung 25: Wärmeübergangskoeffizienten an längsangeströmten Platten für Luft bei 20°C [10]

Die Effizienz des Wärmetransportes von der Wärmequelle ist bei den beiden Transportmedien "Luft" und "Wasser" anhand der folgenden Berechnungsformel nachweisbar:

$$\dot{Q} = c \cdot \dot{m} \cdot \Delta\vartheta$$

$\dot{Q}$: Wärmestrom (W)

c : spezifische Wärmekapazität (kJ/kg · K)

$\dot{m}$: Massenstrom (kg/s)

$\Delta\vartheta$: Temperaturdifferenz (K)

Mit der spezifischen Wärmekapazität wird die Speicherfähigkeit von thermischer Energie eines Mediums in Bezug auf das eigene Gewicht charakterisiert. Für das Transportmedium Wasser (bei 20°C) beträgt die spezifische Wärmekapazität 4.271 kJ/kg·K und von Luft (bei 0°C) einen Wert von 1.01 kJ/kg·K. In Bezug auf die Masse hat Wasser somit eine ca. 4-mal höhere Wärmespeicherfähigkeit als Luft.

In der technischen Anwendung ist der Massenbezug für die Wärmespeicherfähigkeit nicht sehr aussagekräftig, da die Fördermengen für die Transportmedien "Luft" bzw. "Wasser" als volumenspezifische Werte in m³/s bzw. l/s angegeben werden. In dieser Betrachtung wird die energetische Speicherfähigkeit der Transportmedien noch deutlicher erkennbar. Für die gleiche Energiemenge, welche mit dem Medium "Wasser" transportiert wird, ist ein 4200-mal grösseres Volumen des Transportmediums "Luft" ($\rho_L = 1.0 \text{ kg/m}^3$) erforderlich.

7.1.2 Varianten der Hardware-Kühltechnik

Vor dem Hintergrund der vorhergehenden theoretischen Betrachtungen zum Wärmeübergang und zum Wärmetransport der Transportmedien ist die Luftkühlung, die heute typischerweise in Rechenzentren eingesetzt wird, im Vergleich zur Wasserkühlung deutlich ineffizienter. Aus der Praxiserfahrung für herkömmliche Rechenzentren mit Luftkühlung (IBM) entfällt bis zu 50% des gesamten Strombedarfs auf den infrastrukturellen Energiebedarf. Eine direkte Flüssigkühlung mit Wasser ist im Vergleich dazu, infolge der besseren Wärmeaufnahme und des sehr guten Wärmetransportes, weitaus wirksamer bei dem Abtransport von Abwärme der IT- und Elektrokomponenten.

Durch die bessere Wärmeaufnahme von Wasser kann die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle (z.B. CPU) und dem Transportmedium verringert werden und die Kühlung auch

mit Wasser erfolgen, welche ein höheres Temperaturniveau hat. Dies erschliesst neue Nutzungsvarianten für die thermische Energie der Abwärme. Eine Heisswasserkühlung wurde beispielsweise mit dem Supercomputer Aquasar der ETH Zürich im Jahre 2010 erstmalig in der Praxis realisiert. Seither wurden in verschiedenen Umgebungen wassergekühlte Systeme installiert, wie z.B. bei dem Leibniz-Rechenzentrum (SuperMUC), bei dem Department of Defense der amerikanischen Regierung, bei der Fa. Exxon Mobil Corp. und der amerikanischen Weltraumbehörde NASA.

Der ETH Hochleistungsrechner Aquasar besteht aus damals speziell für dieses Projekt hergestellte wassergekühlte Server. Für eine direkte Vergleichbarkeit mit herkömmlichen luftgekühlten Rechnern wurden im Gesamtsystem auch luftgekühlte Server untergebracht. Das System erreicht dabei eine Rechenleistung von etwa 6 Teraflops und verbraucht ca. 20 Kilowatt. Auf den wassergekühlten Servern sind neben den Prozessoren auch weitere, stark wärmeabgebende Komponenten wie Memory-Bausteine und Bridge-Chips direkt gekühlt. Auf folgendem Bild ist einer der wassergekühlten Server dargestellt. Das Kupferfarbene, wasserdurchflossene Kühlsystem ist darauf gut ersichtlich:

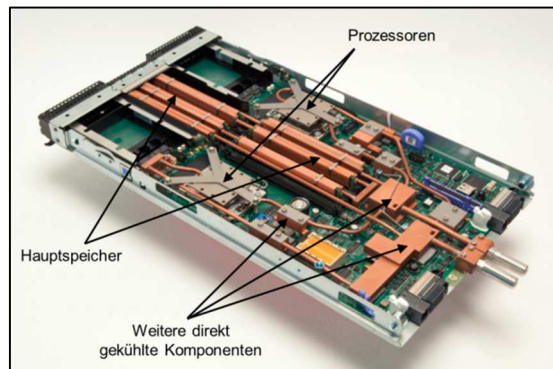


Abbildung 26: Serverblade mit direkter Wasserkühlung der Hauptkomponenten (Quelle: IBM)

Neben der effizienteren Wasserkühlung wurde im Aquasar-Projekt zusätzlich die anfallende Abwärme ins Gebäudeheizsystem integriert, wodurch eine weitere Verbesserung der Gesamteffizienz erreicht werden konnte: Eine Reduktion der Energieaufnahme von ca. **40%** sowie eine Gesamtreduktion der Emissionen um ca. **84%** aufgrund der weiteren Verwendung der anfallenden Wärme (Quelle: IBM).

Die folgende Übersicht (Tabelle 23) zeigt die Gesamtbetrachtung der Energiebilanz inklusive der nicht wassergekühlten Komponenten. Die prozentuale Energierückgewinnung beträgt in diesem Gesamtsystem 67% von der eingesetzten Primärenergie.

	Energieaufnahme	Energierückgewinnung
BladeCenter 1 (BC1)	4.2 kW	
BladeCenter 2 (BC2)	4.3 kW	
Wassermodule	0.1 kW	
Vorlauftemperatur		56.6°C
Rücklauftemperatur		59.5°C
Durchfluss		28.6 l/min
Total	8.6 kW	5.8 kW (67%)

Tabelle 23: Praxisbeispiel für Energiebilanz von sämtlichen IT-Komponenten (Quelle: IBM)

Wenn nur die wassergekühlten Komponenten in der Energiebilanz berücksichtigt werden erhöht sich die prozentuale Energierückgewinnung in diesem Rechenzentrum von 67% auf 84% (Tabelle 24).

	Energieaufnahme	Energierückgewinnung
BladeCenter 1 (BC1)	3.4 kW	
BladeCenter 2 (BC2)	3.4 kW	
Wassermodul	0.1 kW	
Vorlauftemperatur		56.6°C
Rücklauftemperatur		59.5°C
Durchfluss		28.6 l/min
Total	6.9 kW	5.8 kW (84%)

Tabelle 24: Praxisbeispiel für Energiebilanz der wassergekühlten IT-Komponenten (Quelle IBM)

Zur Kühlung der IT-Komponenten im Rechenzentrum wird Vorlaufwasser mit einer Temperatur von bis ca. 60°C verwendet. Möglich wird dies durch ein innovatives Kühlsystem, welches direkt dort ansetzt, wo am meisten Wärme entsteht: unmittelbar bei dem Prozessor (CPU). Zur Wärmeübertragung auf das Transportmedium Wasser sind auf der Rückseite des Chips leistungsfähige Mikrokanalkühler angebracht. Durch den Mikrokanalkühler können die Chips, die eine zehnmal höhere Wärmedichte als eine haushaltsübliche Kochplatte entwickeln, selbst mit bis zu 60°C heissem Wasser noch auf ihre maximal erlaubte Betriebstemperatur von 80 – 85°C gekühlt werden. Die Abwärme, welche mit diesem Kühlsystem nutzbar gemacht wird, kann somit einer direkten Nutzungsvariante, beispielsweise zur Gebäudeheizung oder zur Brauchwasser-erwärmung, zugeführt werden. Da die Abwärme in einem Rechenzentrum relativ homogen entsteht, kann die thermische Energie ebenfalls in der Prozesstechnik eingesetzt werden. Bei Bedarf besteht die Möglichkeit allfällige Temperatur-schwankungen der Abwärme mit einem Wärmepufferspeicher auszugleichen.

Das gesamte Kühlsystem des Rechners ist ein geschlossener und hermetisch abgedichteter Kreislauf. Somit ist eine Trennung der stromführenden Bauteile (IT-Komponenten) von dem Wärmetransportmedium Wasser gewährleistet. Mit Hilfe einer Pumpe wird das Wasser im System mit einem Volumenstrom von ca. 30 Litern pro Minute durch den Hochleistungsrechner gefördert. Die Abwärme wird durch einen Wärmetauscher an einen sekundärseitigen hydraulischen Kreislauf zur Wärmenutzung weitergegeben. Bei dem Projekt "Aquasar" wurde die Wärmeenergie an das Gebäudeheizungssystem der ETH Zürich übertragen.

Mit heissem Wasser, welches eine Temperatur von ca. 65°C hat, zu kühlen, verbindet mehrere Vorteile: Es werden keine energieintensiven Kältemaschinen benötigt, was den Energieverbrauch erheblich reduziert. Weiter kann durch die direkte Abwärmenutzung wertvolle Wärmeenergie zurückgewonnen werden, die sich vielfältig verwenden lässt. Im Vergleich zu alternativen Systemen ohne direkt Abwärmenutzung reduziert sich die CO₂-Bilanz dadurch erheblich.

7.1.3 Vergleich von Luft- und Wasserkühlung (Parameter / Kosten)

Nachfolgende Übersicht (Tabelle 25) zeigt die physikalischen Grundlagen zwischen einer Luft- und einer Wasserkühlung. Aufgrund höherer Wärmekapazität bei gleichzeitig tieferem Wärmeübertragungswiderstand ist Wasser ein wesentlich effizienteres Kühlmedium als Luft.

	Wasserkühlung	Luftkühlung
Wärmekapazität (C_v)	Hoch $\approx 1 \text{ Wh} / (\text{L} \times \text{K})$	Tief $\approx 0.0003 \text{ Wh} / (\text{L} \times \text{K})$
Widerstand der Wärmeübertragung (R_{th})	Tief $0.1 \text{ K cm}^2 / \text{W}$	Hoch $1.0 \text{ K cm}^2 / \text{W}$
Temperaturdifferenz (ΔT)	Tief $5 - 10 \text{ K}$	Hoch $50 - 100 \text{ K}$

Tabelle 25: Physikalische Grundlagen zur Kühlung mit Wasser und Luft (Quelle: IBM)

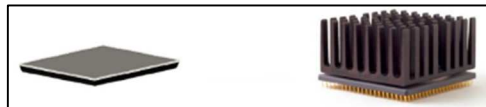


Abbildung 27: CPU-Kühlkörper für Wasser- und Luftkühlung (Quelle: IBM)

Durch die direkte Kühlung fallen weniger Wärmeübertragungsverluste bei der Kühlung an. Dadurch kann mit einem wesentlich wärmeren Medium immer noch ausreichend gekühlt werden.

In nachfolgender Grafik (Abbildung 28) sind die Wärmewiderstände bei der Kühlung eines Prozessors für beide Varianten (Luft und Wasser) dargestellt:

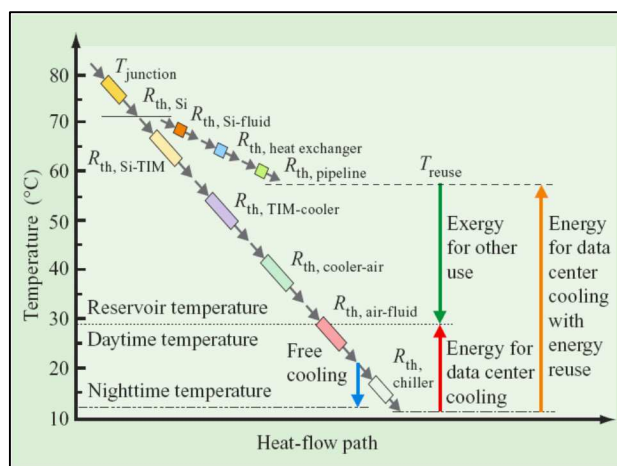


Abbildung 28: Wärmewiderstände bei der Prozessorkühlung (Quelle: IBM)

Ausgehend von der maximal zulässigen Temperatur des Prozessor-Siliziums (ca. 85°C) kann bereits eine genügende Kühlleistung mit direkter Wasserkühlung bei einer Kühlmitteltemperatur von ca. 60°C erreicht werden. Bei einer konventionellen Luftkühlung darf dagegen das Kühlmedium (Luft) maximal um ca. 30°C betragen. Die obige Grafik stellt die unterschiedlichen Wärmewiderstände (R_{th}) der beiden Kühlketten im Vergleich dar.

Die Mehrkosten für die Installation einer direkten Wasserkühlung ergeben sich einerseits aus etwas höheren Kosten der einzelnen Server sowie aus den Mehrkosten für die zur Wasserversorgung benötigten speziellen Server-Chassis mit Wasseranschlüssen, der Wasserverteilung in den Racks sowie den zusätzlich notwendigen CDU's (Cooling Distribution Units) zur Wärmeabgabe an den RZ-Kühlkreislauf. Bei grösseren Installationen ab ca. 50 – 70 Server (d.h. ab ca. 1 Rack) betragen die Investitions-Mehrkosten für diese bei einer Wasserkühlung zusätzlich benötigten Komponenten typischerweise 12-14% der gesamten HW-Investitionskosten.

In nachfolgender Tabelle sind die Beschaffungskosten einer Beispielkonfiguration sowohl für eine wassergekühlte wie auch eine luftgekühlte Variante berechnet. Die Serverbestückung (mit

je 2x Intel E5-2697 v3 Prozessoren), Memory wie auch die weiteren Komponenten wie Switches und Kabel wurden identisch einkalkuliert.

	Wasserkühlung	Luftkühlung	Mehrkosten für Wasserkühlung
Einzelserver (nx360 M5)	16'300.-	14'500.-	ca. +12%
6 Chassis, 1 Rack, Switches, CDU's für total 72 Server (1 Rack)	158'500.-	131'500.-	ca. +20%
Totalkosten für 72 Server inkl. Chassis, Rack etc.	1'332'100.-	1'175'500.-	ca. + 13%
			

Tabelle 26: Kostenvergleich einer 1-Rack-Konfiguration mit total 6 Chassis und 72 Servern (Quelle: IBM)

Bei kleineren Server-Konfigurationen (d.h. weniger als ein volles Rack) steigen die relativen Mehrkosten je Server für eine Wasserkühlung an, da die benötigte zusätzliche Infrastruktur zur Wasserkühlung einen prozentual höheren Anteil an den HW-Gesamtkosten ausmacht (für Wasserverteilung, CDU's und Chassis).

7.1.4 Beispiel SuperMUC

Der Supercomputer SuperMUC des Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) nutzt eine weiterentwickelte Wasserkühlung des Aquasar Rechners der ETH, die aufgrund der hohen Wassertemperaturen ebensolche Vorteile in einer wesentlich grösseren Anlage verbindet: Es werden keine energieintensiven Kältemaschinen für das Rechenzentrum benötigt, was den Energieverbrauch des Gesamtsystems erheblich reduziert. Die Heißwasserkühlung bringt zudem wertvolle Wärmeenergie zurück, die sich vielfältig verwenden lässt. Im Vergleich zu ähnlichen Systemen reduziert sich die CO₂-Bilanz dadurch signifikant. Der SuperMUC kombiniert diese Heißwasserkühlung mit einer anwendungsorientiert arbeitenden Systemsoftware, um den Energieverbrauch weiter zu senken.

„Mit der IBM Heisswasserkühlung und weiteren Software-Tools können wir den Energieverbrauch gegenüber der herkömmlichen Umluftkühlung um 30 bis 40 Prozent senken. Das heißt, dass wir jährlich mindestens eine Million Euro bei den Stromkosten einsparen. Durch die Vermeidung dieser Kosten konnten wir verstärkt in Prozessoren und Arbeitsspeicher investieren und somit ein leistungsfähigeres System aufbauen“, so Prof. Dr. Bode vom LRZ. Auf dem folgendem Bild (Abbildung 29) ist einer der Server vom SuperMUC zu sehen. Die **Reduktion des Energieverbrauchs von 30 bis 40 Prozent** basiert auf den geringeren Kühlleistungen der Kältemaschinen sowie der reduzierten Ventilatorenleistungen zur Luftzirkulation bei der Kühlung der Komponenten, welche nicht direkt gekühlt werden. Die kupferfarbenen Kühlleitungen verbinden die Wärmequellen auf der gesamten Platine miteinander und leiten das Kühlmedium Wasser zu den beiden zentralen Vor-/Rücklaufanschlüssen.

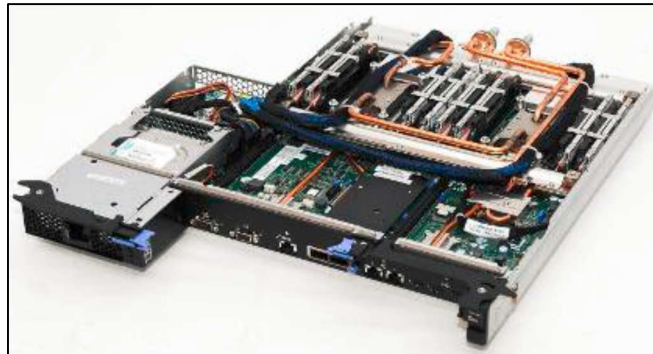


Abbildung 29: Serverblade im SuperMUC (Quelle: IBM)

Messwerte des hybrid-gekühlten SuperMUC mit Warmwasser:

LRZ Angaben und Messungen mit Warmwasser	
Server Racks	90% Wärmeabgabe in den Wasserkreislauf 10% Wärmeabgabe konventionell
Netzwerk/Speicher Racks	Wassergekühlte Racktüren
Reduktion Strombedarf der Server	10% durch tiefere Komponententemperatur sowie Wegfall der Ventilatoren
PUE Gesamtinstallation	1.1
ERE ⁴ ($P_{\text{Total}} - P_{\text{Reuse}}$) / P_{IT}	0.3

Tabelle 27: Messwerte des hybrid-gekühlten SuperMUC mit Warmwasser (Quelle: IBM)

Messwerte des hybrid-gekühlten SuperMUC mit Kaltwasser:

LRZ Messungen mit Kaltwasser	
Reduktion Strombedarf der Server	15% durch tiefere Komponententemperatur sowie Wegfall der Ventilatoren
RZ Temperaturbereich	25°C - 35°C
Wassertemperaturbereich	18°C - 45°C

Tabelle 28: Messwerte des hybrid-gekühlten SuperMUC mit Kaltwasser (Quelle: IBM)

7.1.5 Vor- und Nachteile der verschiedenen Kühltechnologien

In der Tabelle 29 sowie Tabelle 30 sind die Vor- bzw. Nachteile der Direktkühlung tabellarisch zusammengestellt. Die Gegenüberstellung der Randbedingungen bei der Installation einer Direktkühlung zeigt, dass diese Kühltechnologie nicht nur Vorteile bietet. Bei einer Gesamtbetrachtung, insbesondere hinsichtlich des Energieverbrauchs und der langfristigen Kosteneffizienz, überwiegen jedoch die Vorteile der Direktkühlung mit dem Transportmedium Wasser.

⁴ ERE: Energy Reuse Effectiveness

Vorteile Direktkühlung	Effekt
Keine internen Server-Ventilatoren notwendig	• Reduktion der Stromaufnahme durch Wegfall der Ventilatoren • Massive Reduktion des Schallpegels • Höhere Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Hardware (keine anfälligen Ventilatoren)
Extrem Energie-effizient	• Tiefere Betriebskosten • Kompaktere Bauweise • Keine Klimaanlage notwendig
Maximale Leistung	• Prozessoren können dauernd im Turbo-Mode betrieben werden

Tabelle 29: Vorteile der Direktkühlung mit Wasser (Quelle: IBM)

Nachteile Direktkühlung	Effekt
Höherer Beschaffungspreis	• Zusätzliche initiale Investitionen in Wasserleitungen notwendig
Komplexere Installation im RZ	• Wasserleitungen bis zu den Racks notwendig • Spezifische Wassertemperatur • Speziallösungen notwendig
Kleineres Angebot an Herstellern	• Einschränkung bei der möglichen Produktwahl von Servern

Tabelle 30: Nachteile der Direktkühlung mit Wasser (Quelle: IBM)

7.2 Energienutzung der Abwärme

Eine Nutzung der thermischen Abwärme ist unmittelbar von dem gesamten Energieeinsatz für die IT- und Elektrotechnik sowie dem Temperaturniveau der Abwärme abhängig. Die typische Verteilung des Energieeinsatzes ist in der Abbildung 30 ersichtlich.

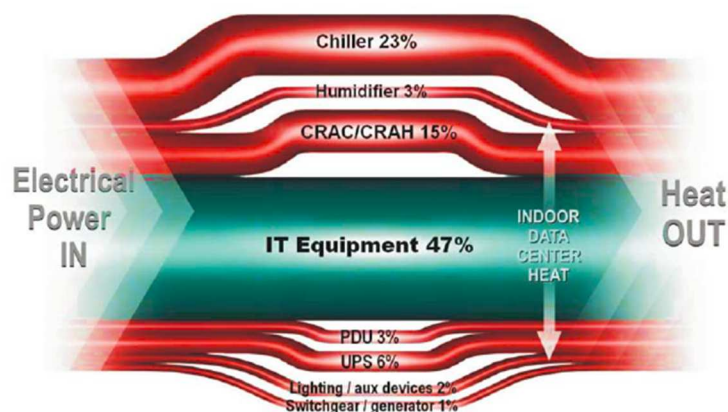


Abbildung 30: Prozentuale Verteilung des Energieeinsatzes im RZ und Entstehung der Abwärme [11]

Die Abwärmenutzung bei einem Rechenzentrum ist von den individuellen Parametern des Rechenzentrums abhängig. Zu diesen Parametern, welche die Möglichkeiten zur Abwärmenutzung vorgeben, gehören die folgenden Faktoren:

- Standort des Rechenzentrums:
 - Entfernung zwischen der Wärmequelle und dem Nutzungsort der Abwärme
 - ⇒ möglichst kurze Distanzen für den Energietransport zur Minimierung der thermischen Transport- und Verteilungsverluste
 - periphere Möglichkeiten zur Abwärmenutzung
 - ⇒ Diversifikation zur Nutzung der Abwärme in Abhängigkeit von der Energiemenge und dem verfügbaren Temperaturniveau
 - Möglichkeiten zur Zwischenspeicherung von Abwärme
 - ⇒ Möglichkeiten für eine zeitlich versetzte Nutzung der Abwärme bzw. ein Ausgleich von Lastspitzen bei der Abwärmenutzung
- Art des Rechenzentrums:
 - Grösse des Rechenzentrums
 - ⇒ Auswahl der Nutzungsarten für die thermischen Energie in Abhängigkeit von der verfügbaren Abwärmemenge
 - Aufbau des Rechenzentrums
 - ⇒ Die räumliche Anordnung und Arten der IT- und elektrotechnischen Komponenten bestimmen die Varianten des Rückkühlsystems
- Kühltechnik im Rechenzentrum
 - ⇒ Das Temperaturniveau und der Volumenstrom des Transportmediums im Kühlsystem sind die Hauptkriterien, welche die Möglichkeiten für die Abwärmenutzung vorgeben

Die Energienutzung der Abwärme kann grundsätzlich in die folgenden beiden Kategorien eingeteilt werden:

- Direkte Abwärmenutzung:
 - ⇒ Nutzung der Abwärme durch eine direkte Übertragung von thermischer Energie auf ein Nutzungsmedium (z.B. zur Erzeugung von Brauchwarmwasser, für Heizungszwecke im Niedertemperaturbereich oder für die Prozesstechnik)
- Indirekte Abwärmenutzung:
 - ⇒ Nutzung der Abwärme über einen Zwischenprozess (z.B. Wärmepumpe) zur Erhöhung des Temperaturniveaus oder über eine thermische Zwischenspeicherung (z.B. Pufferspeicher im Erdreich), um weitere Nutzungsvarianten zu ermöglichen. Zu diesen Varianten gehören beispielsweise die Abwärmenutzung für Heizzwecke oder in der Prozesstechnik mit einem höheren Temperaturniveau sowie die zeitversetzte Abwärmenutzung durch eine Zwischenspeicherung in einem "Wärmepuffer" und spätere Entnahme der Wärmeenergie.

8 Zusammenfassung und Massnahmenkatalog für Hardware im Rechenzentrum

Massnahme	Mögliche zur Energieeinsparung (Effekte)
Virtualisierung	Reduktion der physischen Server durch Virtualisierung und Konsolidierung: Je nach Anfangslage des Rechenzentrums bis zu 50% Strom innerhalb der Komponente und 24% in Gesamtverbrauch einsparbar
Storage	- Effiziente Storage-Management und Reduktion der Redundanz und des gesamten Speicherbedarfs durch Deduplizierung und Thinprovisioning bis zu 60% innerhalb der Komponente und bis zu 15% in Gesamtverbrauch einsparbar - Storageoptimierung durch Kombination von HDD und SSD: bis zu 54% innerhalb der Komponente und bis zu 14% in Gesamtverbrauch einsparbar - Komplettes Umstieg auf Flashspeicherlösungen und Konsolidierung: bis zu 90% innerhalb der Komponente und bis zu 23% in Gesamtverbrauch einsparbar
Stromtechnik (AC/DC)	- Umrüstung der Stromversorgung für die IT-Komponenten von einem Wechselstrom- auf ein Gleichstromsystem. ⇒ Zentralisierung der Stromumwandlung (Transformator und Gleichrichter) für alle IT-Komponenten. Zentrale Nutzung der Abwärme aus den Umwandlungsverlusten in der Stromversorgung. ⇒ Energetische Effizienzsteigerung durch Minimierung der Umwandlungsschritte von ca. 10% ⇒ Finanzielle Effizienzsteigerung durch niedrigere Investitionskosten bei den elektrischen Komponenten von ca. 15% ⇒ Räumliche Effizienzsteigerung durch weniger Platzbedarf der elektrischen Komponenten von 25% (zusätzliche finanzielle Einsparung)
Kommunikation	Reduktion der Netzwerk-Geräte infolge der Reduktion von physikalischen Servern (Nebeneffekt der Virtualisierung).
Kühltechnik & Abwärmenutzung	- Verringerung der Entfernungen zwischen der Abwärmequelle und dem Nutzungsort für die thermische Energie. ⇒ Durch eine Verringerung der Distanzen für den Energietransport reduzieren sich die thermischen Übertragungsverluste proportional zum Transportweg. - Verwendung einer direkten Kühltechnik zur Aufnahme der thermischen Energie an der Abwärmequelle mit einer Steigerung der Effizienz von 40%. ⇒ Durch die direkte Kühltechnik steigt die Effizienz der Übertragung der thermischen Energie von der Wärmequelle auf das Transportmedium "Wasser" infolge des ca. 500-fach höheren Wärmeübergangs- koeffizienten gegenüber dem Transportmedium "Luft" ⇒ Durch den Einsatz des Transportmediums "Wasser" steigt die Effizienz für den Wärmetransport von der Wärmequelle zum Nutzungsort infolge der ca. 4200-fach höheren spezifischen Wärmekapazität von Wasser bezogen auf das Fördervolumen. - Erhöhung der direkten Nutzung von Abwärme für Heizzwecke bzw. in der Prozesstechnik. ⇒ Durch die direkte Nutzung der Abwärme ohne einen Zwischenprozess zur Anhebung des Temperaturniveaus mittels einer Wärmepumpe, entfällt der Energiebedarf zum Betrieb und der Installationsaufwand für die Anlagentechnik der Wärmepumpe. - Nach Möglichkeit die thermische Energie in einem Zwischenspeicher für eine zeitversetzte Nutzung einlagern.

	⇒ Die Abwärme in einem Rechenzentrum entspricht einer Bandlast, sodass die thermische Energie zeitlich und mengenmässig annähernd konstant über den Tages- bzw. Jahresverlauf abgeführt werden muss. Da die Nutzungsmöglichkeiten für die Abwärme in den Wintermonaten wesentlich grösser als in den Sommermonaten sind, wäre die Speicherung der thermischen Energie in einem Pufferspeicher (z.B. Erdwärmespeicher) im Sommer und einer späteren zusätzlichen Nutzung im Winter möglich.
--	---

Literaturverzeichnis

- [1] D. Hauri und G. Puntsagdash, „Rechenzentrum in der Schweiz - Energieeffizienz: Stromverbrauch und Effizienzpotenzial,“ 2014.
- [2] A. Zallmann, „IBM AIX POWER vs. LINUX X86: Praxisvergleich für Kernapplikationen im Banken- und Versicherungsumfeld,“ 2014.
- [3] Oliver Wyman Study, „Making Green IT Reality,“ 2007.
- [4] Hitachi Data Systems, „Datenblatt Hitachi Virtual Storage Platform G1000,“ 2014.
- [5] M. Zacher, „IDC Executive Brief: Big Business dank Big Data?,“ 2012.
- [6] L. Mearian, „Computerworld: SanDisk announces 4TB SSD, hopes for 8TB next year,“ 2014.
- [7] HP, „Datenblatt HP StoreInce B6200 Backup,“ 2012.
- [8] M. Kremp, „Open Compute Project: Facebook verschenkt seine Stromspar-Trick,“ Spiegel, 2011.
- [9] Bitkom, „Energieeffizienz im Rechenzentrum Band 2,“ 2008.
- [10] S. S. Recknagel, „Handbuch für Heizung + Klimatechnik, 2001/2002,“ 2001/2002.
- [11] N. Rasmussen, „Electrical Efficiency Modeling of Data Centers (APC White Paper #113),“ 2006.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesamtenergieeffizienz eines herkömmlichen Rechenzentrums (Quelle: IBM / bearbeitet)	11
Abbildung 2: Modell Energieaufteilung im RZ (Quelle: In&Out)	12
Abbildung 3: Prozentuale Aufteilung der elektrischen Energie IT-Leistung	13
Abbildung 4: Plausibilisierung. Prozentuale Aufteilung der elektrischen Energie IT-Leistung ...	14
Abbildung 5: Prozentuale Aufteilung der elektrischen Energie IT-Leistung 2 virtuelle/1 physische Server	14
Abbildung 6: Prozentuale Aufteilung der elektrischen Energie IT-Leistung 12 virtuelle/1 physische Server	15
Abbildung 7: Prozentuale Aufteilung der elektrischen Energie IT-Leistung 20 virtuelle/1 physische Server	15
Abbildung 8: Auslastungswerte der Server in einem herkömmlichen Rechenzentrum (Quelle: IBM)	16
Abbildung 9: Auslastungsdiagramme mehrerer Server in einem herkömmlichen Rechenzentrum (Quelle: IBM)	16
Abbildung 10: Auslastungskurven eines virtualisierten Servers (Quelle: IBM)	17
Abbildung 11: Leistungsaufnahme in Bezug auf CPU-Auslastung bei einem Intel-System (Quelle: IBM)	17
Abbildung 12: Leistungsaufnahme in Bezug auf CPU-Auslastung bei einem UnixPower-System (Quelle: IBM)	18
Abbildung 13: Prinzipdarstellung für Ersatz von HDDs durch SSDs (Quelle: In&Out)	22
Abbildung 14: Prinzip von Thin Provisioning [3]	23
Abbildung 15: Eine DC-Versorgung von Rechenzentren erfordert weniger Komponenten und ist mit geringeren Verlusten verbunden als eine AC-Versorgung (Quelle: ABB)	32
Abbildung 16: Die typische Wechselstrom-Architektur (Quelle: ABB Schweiz AG)	33
Abbildung 17: Effizienzvergleich von DC- und AC-Architektur (Quelle: ABB)	34
Abbildung 18: Vergleich der Gleichspannungsniveaus verschiedener Anwendungsbereiche	36
Abbildung 19: Prinzip-Schema der DC-Stromversorgung bei Green.ch (Quelle: ABB Schweiz AG)	37
Abbildung 20: Kombination der Massnahmen für Stromeinsparung	41
Abbildung 21: Gesamtstromeinsparung bei Kombination der Massnahmen	42
Abbildung 22: Gesamtstromeinsparung bei Kombination der Massnahmen und Umwandlungseffizienz	42
Abbildung 23: Rechenbeispiel für Gesamtstromeinsparung und Reduktion des PUE-Wertes (Amstein+Walthert AG, Eindarstellung)	43
Abbildung 24: Wärmeübergangskoeffizienten an längsangeströmten Platten [10]	47
Abbildung 25: Wärmeübergangskoeffizienten an längsangeströmten Platten für Luft bei 20°C [10]	48
Abbildung 26: Serverblade mit direkter Wasserkühlung der Hauptkomponenten (Quelle: IBM)	49
Abbildung 27: CPU-Kühlkörper für Wasser- und Luftkühlung (Quelle: IBM)	51
Abbildung 28: Wärmewiderstände bei der Prozessorkühlung (Quelle: IBM)	51
Abbildung 29: Serverblade im SuperMUC (Quelle: IBM)	53
Abbildung 30: Prozentuale Verteilung des Energieeinsatzes im RZ und Entstehung der Abwärme [11]	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Plausibilisierte Messwerte Leistungsbedarf (Quelle: In&Out)	12
Tabelle 2: Jahresenergieverbrauch und prozentuale Aufteilung IT-Leistung (Quelle: In&Out) ..	13
Tabelle 3: Gegenüberstellung von virtuellen und physischen Servern (Quelle: In&Out)	20
Tabelle 4: Kostenvergleich des Stromverbrauchs, TCO 3 Jahre [2].....	20
Tabelle 5: Vergleich der Energieeinsparung von herkömmlichen und virtualisierten Servern (Quelle: IBM)	21
Tabelle 6: System 1 - Basis Storage, System 2 - Optimierte Konfiguration SSD 2-TIER, System 3 - Kapazität-optimiertes Storage	24
Tabelle 7 – Gegenüberstellung Basis- vs. optimierte Konfiguration SSD	25
Tabelle 8 – Gegenüberstellung Basis- vs. optimierte Konfiguration insgesamt.....	25
Tabelle 9 – Gegenüberstellung Grobkostenschätzungen Investitionen.....	26
Tabelle 10: Vergleich der Speicher-Technologien in 40TB-Umgebung (Quelle: IBM)	26
Tabelle 11: Vergleich der Speicher-Technologien in 1.1 MIOPS-Umgebung (Quelle: IBM)	27
Tabelle 12: Praxisvergleich der Speicher-Technologien (Quelle: IBM)	27
Tabelle 13: Gegenüberstellung von Backup-Systemen (Quelle: In&Out).....	28
Tabelle 14: Gegenüberstellung von disk- und bandbasierten Backup-Systemen (Quelle: In&Out, Daten: [7]).....	29
Tabelle 15: Energetischer Vergleich von optimierten disk- und bandbasierten Backup-Systemen	29
Tabelle 16: Energetischer Vergleich von optimierten disk- und bandbasierten Backup-Systemen	30
Tabelle 17: Typische Wirkungsgrade im Versorgungsstrang bei AC und DC Architektur	34
Tabelle 18: Energie-Effizienz bei unterschiedlichen Lastpunkten / Kühlung vernachlässigt (Quelle: ABB Schweiz AG).....	38
Tabelle 19: Übersicht des Stromeinsparungspotentials innerhalb der einzelnen Komponenten	40
Tabelle 20: Aufteilung des Energieverbrauchs nach Komponenten im IT-Bereich	40
Tabelle 21: Best- und worst-case Effizienz-Faktoren Stromumwandlung	41
Tabelle 22: IT-Leistung nach Komponenten mit konventionellen Technologien (Summe 100kW) und dafür verursachten Umwandlungsverluste (best und worst AC).....	41
Tabelle 23: Praxisbeispiel für Energiebilanz von sämtlichen IT-Komponenten (Quelle: IBM)....	49
Tabelle 24: Praxisbeispiel für Energiebilanz der wassergekühlten IT-Komponenten (Quelle IBM)	50
Tabelle 25: Physikalische Grundlagen zur Kühlung mit Wasser und Luft (Quelle: IBM)	51
Tabelle 26: Kostenvergleich einer 1-Rack-Konfiguration mit total 6 Chassis und 72 Servern (Quelle: IBM)	52
Tabelle 27: Messwerte des hybrid-gekühlten SuperMUC mit Warmwasser (Quelle: IBM)	53
Tabelle 28: Messwerte des hybrid-gekühlten SuperMUC mit Kaltwasser (Quelle: IBM).....	53
Tabelle 29: Vorteile der Direktkühlung mit Wasser (Quelle: IBM).....	54
Tabelle 30: Nachteile der Direktkühlung mit Wasser (Quelle: IBM).....	54