

Vorschläge zur Optimierung der Serverräume an der ETH Zürich basierend auf einer Kosten- und Energieanalyse

Masterarbeit

von

Christoph Mäder

04-704-821

cmaeder@ethz.ch

Betreuung:

Prof. Dr. Roman Boutellier

Management, Technology and Economics, MTEC

Technology and Innovation Management, TIM

Dordaneh Arangeh

Bereich Vizepräsident Personal und Ressourcen

Dr. Dominik Brem

Sicherheit, Gesundheit, Umwelt

Zürich, 25.Oktober 2010

Management Summary

Die laufend steigende Nachfrage nach Rechenleistung und Speicherkapazität führte an der ETH Zürich zu einer immer grösseren Anzahl Serverräume sowie zu einem Anstieg des Energiebedarfs und der Kosten. Die grössten Serverräume an der ETH Zürich sind bekannt, doch eine detaillierte Aufstellung über Art, Anzahl, Grösse und Lokalität fehlt ebenso wie eine Übersicht bezüglich Energieverbrauch dieser Räume. Des Weiteren existiert weder eine Zusammenstellung der Serverraumkosten noch eine exakte Analyse der Kostentreiber und deren Gesamtkostenanteil.

Ziel dieser Masterarbeit war zuerst die Ermittlung von Eigenschaften, Gemeinsamkeiten und Unterschieden der Serverräume an der ETH Zürich. In einem zweiten Schritt sollten Energieeffizienz (Power Usage Effectiveness; PUE) und Kostenstruktur der Serverräume untersucht werden. Aufgrund dieser Analysen sollten in einem dritten Schritt verschiedene Optimierungsansätze diskutiert und ein Vorschlag zur praktischen Umsetzung hergeleitet werden.

Im ersten Schritt wurden an der ETH Zürich beinahe 200 Serverräume identifiziert und anschliessend in die Klassen Rechenzentrum ($n=11$), mittlere Serverräume ($n=24$) und Büroserver ($n=161$) eingeteilt. Rechenzentren beinhalten die meisten Komponenten der spezifischen Rauminfrastruktur. Dazu zählen neben Kommunikationsequipment für den Datenverkehr auch Kühlung und unterbrechungsfreie Stromversorgung. Mittlere Serverräume haben in der Regel nur eine Kühlung, während bei Büroservern sämtliche Komponenten der spezifischen Rauminfrastruktur fehlen. Mittlere Serverräume weisen an der ETH Zürich einen besseren PUE auf als Rechenzentren. Dies liegt daran, dass die Kühlung die einzige Komponente der spezifischen Rauminfrastruktur ist und dementsprechend weniger Strom benötigt wird. Büroserver weisen die beste Energieeffizienz auf, weil sie sich in Räumen befinden, in welchen sämtliche Komponenten der spezifischen Rauminfrastruktur fehlen. Mehr Komponenten der spezifischen Rauminfrastruktur bedeuten neben einer schlechteren Energieeffizienz aber auch eine höhere Ausfallsicherheit. Alle Serverräume zusammen (inkl. spezifischer Rauminfrastruktur) benötigen rund 25% des gesamten Strombedarfs der ETH Zürich, wovon 80% auf die Rechenzentren entfallen.

Die Gesamtkosten aller Serverräume belaufen sich ohne das Hochleistungs-Rechenzentrum CSCS in Manno auf rund 27 Mio. CHF pro Jahr. Trotz ihrer geringen Anzahl fällt auch bei den Gesamtkosten der grösste Teil auf die Rechenzentren. Eine Analyse der Kostenstruktur ergab, dass die Amortisation der IT-Hardware in allen Raumklassen zwischen 50% und rund 70% der Gesamtkosten ausmacht. Zweitgrösster Kostenfaktor ist die Energie mit einem Anteil zwischen 10% und 25%, gefolgt von der Rauminfrastruktur, sofern diese vorhanden ist.

Das grösste Sparpotential bieten Konsolidierung und Virtualisierung von Serversystemen. Damit können an der ETH Zürich ca. 11% der Gesamtkosten eingespart werden. Bei diesen Massnahmen werden einerseits bestehende Systeme und Anwendungen zusammengefasst und andererseits physische Server in mehrere virtuelle Server unterteilt. Sowohl Hardware- als auch Energiekosten lassen sich dadurch erheblich senken, wobei die Einsparungen durch die zusätzlichen Kosten der Virtualisierungssoftware und deren Management etwas vermindert werden. Weitere Massnahmen, um Kosten und Energieverbrauch zu senken, sind Power Management, Beschaffung energieeffizienter Hardware und gemeinsame Nutzung von Servern und Departements-Clustern. Zudem besteht in Rechenzentren die Möglichkeit Serverracks einzuhausen und in gekühlten Räumen die Temperaturtoleranzen zu erhöhen. Eine zusätzliche Massnahme ist die Harmonisierung des zur Zeit sehr heterogenen Serverbestandes. Dadurch wird die Konsolidierung des Serverbestandes unterstützt und die Voraussetzung für die Einhausung der Serverracks geschaffen.

Zur praktischen Umsetzung dieser Optimierungsansätze, insbesondere Konsolidierung und Virtualisierung, scheint die Schaffung einer zentralen, koordinierenden Stelle wichtig zu sein. Diese könnte ins IT-Portfoliomanagement integriert werden und wäre für strategische Aufgaben zuständig, während die IT-Verantwortlichen einer Organisationseinheit für die operative Umsetzung zuständig blieben. Die zentrale Stelle könnte zusammen mit den IT-Verantwortlichen und den Server-Betreibern die gemeinsame Nutzung und die Virtualisierung inaktiver Server prüfen, nachdem diese identifiziert wurden. Um möglichst viele Server virtualisieren zu können, muss das Angebot der virtuellen Server der Informatikdienste der ETH Zürich attraktiver sein als ein physischer Server. Ein entsprechendes Angebot könnte in Zusammenarbeit mit der zentralen Stelle ausgearbeitet werden, wobei sie die Interessen der Server-Betreiber einbringen kann. Neben der Virtualisierung lassen sich die gemeinsame Nutzung und die Beschaffung energieeffizienter Hardware gut in den Beschaffungsprozess eines neuen Servers integrieren. Dabei wird die zentrale Stelle schon nach kurzer Zeit über Erfahrungen aus vergangenen Beschaffungen und Server-Evaluationen verfügen. Davon ausgehend kann sie bei der Beschaffung eines neuen Servers schnell und kompetent eine Empfehlung abgeben. Zudem lassen sich Synergien bei gemeinsamer Nutzung und Virtualisierung dank der Kooperation mit allen Departementen besser nutzen. Des Weiteren kann die zentrale Stelle zusammen mit dem Rechenzentrums-Manager Richtlinien für Server in Rechenzentren definieren. Diese Richtlinien erlauben eine Harmonisierung des Serverbestandes und vereinfachen eine zukünftige Konsolidierung. Aus heutiger Sicht könnte sich eine solche zusätzliche Stelle durch die Einsparungen aus den umgesetzten Massnahmen problemlos selbst finanzieren.

Es ist davon auszugehen, dass die Nachfrage nach Rechenleistung und Speicherkapazität auch in Zukunft steigen wird. Somit stellt sich die Frage, wie die erhöhte Nachfrage abgefangen werden kann. Eine Möglichkeit bildet „Cloud Computing“. Dabei werden die benötigte Rechenleistung und der Speicherplatz nicht mehr intern zur Verfügung gestellt sondern von einem spezialisierten Anbieter über das Internet bezogen. Die Evaluation einer „Cloud“-Lösung für die IT-Infrastruktur der ETH Zürich war jedoch nicht Teil dieser Arbeit.

Aufgabenstellung



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Management, Technology, and Economics (D-MTEC)
Chair of Technology and Innovation Management

Prof. Dr. Roman Boutellier
rboutellier@ethz.ch
www.tim.ethz.ch

Rämistrasse 101
HG F45
CH-8092 Zürich
www.tim.ethz.ch

Christoph Mäder
Bereich VP Personal & Ressourcen
ETH Zürich, HG FO 38.3
Rämistrasse 101
8092 Zürich
Schweiz

Zürich, 5. Mai 2010

Aufgabenstellung Ihrer Masterarbeit

Optimierung der IT Infrastruktur an der ETH bezüglich Kosten und Energieeffizienz

Sehr geehrter Herr Mäder

Die ETH Zürich ist eine der international führenden technisch-naturwissenschaftlichen Hochschulen und zählt über 15'000 Studierende aus rund 80 Ländern, davon 3'400 Doktorierende. Rund 400 Professorinnen und Professoren unterrichten und forschen zurzeit auf den Gebieten der Ingenieurwissenschaften, Architektur, Mathematik, Naturwissenschaften, systemorientierten Wissenschaften sowie der Management- und Sozialwissenschaften.

Nicht nur weltweit, sondern auch an der ETH Zürich steigen die Bedürfnisse an die IT Infrastruktur stetig. Forschungsinstitute, Departemente sowie die Infrastruktur der ETH benötigen immer höhere Rechenleistung was einen wachsenden Energieverbrauch nach sich zieht. Dieser Trend wird sich allem Anschein nach auch in Zukunft fortsetzen, wenn nicht sogar noch verstärken. Im Zuge der Klimaschutzdiskussion und der laufenden Energiedebatte soll der Energiebedarf kritisch hinterfragt, und wenn möglich mit effizienzsteigernden Massnahmen und neuen Technologien gesenkt werden. Dies hätte auch geringere Betriebskosten zur Folge, was ein grosses Ziel der ETH Zürich darstellt.

Aus diesem Grund erhalten Sie die Aufgabe zuerst eine Bestandsaufnahme der momentanen Situation bezüglich der IT Infrastruktur (Serverräume) an der ETH Zürich zu erstellen. Die Bestandsaufnahme soll zeigen welche Lösungen für Serverräume heute bereits existieren, wo sich diese befinden und wie viele es davon tatsächlich gibt. Mit Hilfe von KPIs sollen die Serverräume miteinander verglichen (internes Benchmarking) und die jeweiligen Kosten- und Energietreiber identifiziert werden. In einem zweiten Schritt zeigen Sie verschiedene Optimierungspotentiale auf um den Energiebedarf im Bereich IT a) genauer abzuschätzen, b) zu reduzieren und c) die Kosten zu senken. In einem weiteren Schritt untersuchen Sie, wie sich eine Konsolidierung der bestehenden IT Infrastruktur realisieren liesse. Ausgehend von einer good/best Practice Analyse entwickeln Sie mehrere Lösungsvarianten. Wählen sie ein Lösungskonzept anhand eines Bewertungsschemas aus, welches die relevanten Aspekte je nach Wichtigkeit berücksichtigt und konkretisieren Sie es. Abschluss der Arbeit bildet ein Projektplan für das weitere Vorgehen zur Umsetzung der Lösung.

Wir erwarten von Ihnen einen aussagekräftigen Schlussbericht, welcher das erarbeitete Lösungskonzept, die Argumentation des vorgeschlagenen, weiteren Vorgehens sowie Ihre eigene Vorgehensweise konsistent und anschaulich darlegt. Der Startzeitpunkt Ihrer Arbeit ist der 03.05.2010 und sie endet gemäss den Vorgaben des Departements am 03.11.2010. Der Bericht muss den Anforderungen an eine wissenschaftliche Arbeit entsprechen und die Vorgehensmethodik des Zürcher Systems Engineering berücksichtigen.

Die Betreuung Ihrer Arbeit wird von Frau Dordaneh Arangeh wahrgenommen.

Wir wünschen Ihnen bei der Bearbeitung dieses Themas viel Erfolg.

Mit freundlichen Grüssen



Prof. Dr. Roman Boutellier



Dordaneh Arangeh

Abstract


Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Management, Technology, and Economics
Chair for Technology and Innovation Management

www.tim.ethz.ch

Abstract of student theses

Student's First Name*	Christoph	Student's Name*	Mäder
Title of Thesis*	Kosten- und Energieeffizienz von Serverräumen an der ETH Zürich und Vorschläge zur Optimierung		
Kind of work*	Master Thesis		
Start Date & End Date*	03.05.2010 bis 03.11.2010		
Summary (max 2500 characters, including spaces)*:			
An der ETH Zürich existieren beinahe 200 Serverräume, welche in die Klassen Rechenzentrum (n=11), mittlere Serverräume (n=24) und Büroserver (n=161) eingeteilt wurden. Rechenzentren (RZ) haben neben einer Kühlung auch eine unterbrechungsfreie Stromversorgung. Mittlere Serverräume haben nur eine Kühlung, wodurch sie bezüglich Energieeffizienz etwas besser abschneiden als die RZ. Büroserver haben keine dieser Hilfskomponenten, wodurch sie die beste Energieeffizienz aufweisen. Mehr Hilfskomponenten bedeuten neben einer schlechteren Energieeffizienz aber auch eine höhere Sicherheit bezüglich Ausfall. Die Serverräume benötigen total rund 25% des gesamten Strombedarfs der ETH Zürich, wobei über 80% auf die Rechenzentren entfallen. Die Gesamtkosten aller Serverräume belaufen sich ohne Hochleistungs-RZ CSCS auf rund 27 Mio. CHF pro Jahr. Trotz ihrer geringen Anzahl fällt auch bei den Gesamtkosten der grösste Teil auf die RZ. In allen Raumklassen macht die Amortisation der IT-Hardware zwischen 50% und rund 70% der Gesamtkosten aus. Zweitgrösster Kostenfaktor ist die Energie mit einem Anteil zwischen 10% und 25%, gefolgt von der Rauminfrastruktur, sofern diese vorhanden ist. Grösstes Einsparpotential bieten Konsolidierung und Virtualisierung, weil dadurch Hardware-, wie auch Energiekosten erheblich gesenkt werden können. Die Einsparungen werden durch die zusätzlichen Kosten von Virtualisierungssoftware und deren Management etwas vermindert. Bei dieser Massnahme werden einerseits bestehende Systeme und Anwendungen zusammengefasst und andererseits physische Server in mehrere virtuelle Server unterteilt. Weitere Massnahmen um Kosten und Stromverbrauch zu senken sind Power Management, Beschaffung energieeffizienter Hardware und gemeinsame Nutzung von Servern. Zudem besteht die Möglichkeit Serverracks einzuhausen und in gekühlten Räumen die Temperaturtoleranzen zu erhöhen. Die Harmonisierung des zur Zeit sehr heterogenen Serverbestandes ist anzustreben, weil dadurch die Konsolidierung unterstützt wird. Zur praktischen Umsetzung dieser Massnahmen, insbesondere Konsolidierung und Virtualisierung, bietet sich die Schaffung einer zentralen Stelle an. Diese könnte ins IT-Portfoliomanagement integriert werden und ist für strategische Aufgaben zuständig, während die IT-Verantwortlichen der Departemente für die operative Umsetzung zuständig bleiben. Die zentrale Stelle könnte sich durch die Einsparungen aus den Massnahmen problemlos selbst finanzieren.			
Name of the company:	ETH Zürich		
Name of the organizational unit:	VPPR, SGU		
Place:	Zürich		
Professor*:	Prof. Dr. Roman Boutellier		
Assistant*:	Dordaneh Arangeh und Dr. Dominik Brem		

Student: Date, Place & Signature:*

Representative of company: Date, Place & Signature:*

*: mandatory

With all the signatures showing, all signed persons are agreed with the unrestricted publication of every data, the summary exactly as verbalized and every name on this form.

Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei Professor Dr. Roman Boutellier für diese spannende Masterarbeit und seinen wertvollen Input an den Präsentationen bedanken.

Des Weiteren gilt mein Dank allen Mitarbeitern der ETH Zürich, welche mich im Verlauf meiner Masterarbeit mit Informationen und fachkundigen Erklärungen unterstützt haben. Dies waren insbesondere die Architekten der Abteilung Bauten, Personen der Abteilungen Betrieb, Informatikdienste und des Portfoliomanagements des Infrastrukturbereichs Immobilien.

Ein spezieller Dank geht an die Informatik Support Leiter aller Departemente, welche mir in den Interviews und etlichen E-Mails einen guten Einblick in die Situation und die Abläufe an ihrem Departement gegeben haben. Speziell erwähnen möchte ich Herrn Janos Palinkas, Informatik Support Leiter des Departements BSSE, welcher mir den Besuch in Basel ermöglicht und mich in all meinen Fragen zum Serverraum in Basel unterstützt hat. Ebenso danke ich Herrn Hirter, Informatik Support Leiter des Departements Umweltwissenschaften, dass er mir in diversen Gesprächen und E-Mails seine Erfahrungen im Bereich Virtualisierung zur Verfügung gestellt hat. Bei Hansueli Stutz, Rechenzentrums-Manager der ETH Zürich, möchte ich mich besonders bedanken, dass er mir mit seinem Wissen weitergeholfen und meine zahlreichen Fragen bereitwillig beantwortet hat. Dasselbe gilt für Stefan Haldemann von der Abteilung Kommunikation. Frau Ladina Gilly, Associate Director Business Services CSCS, bin ich für den Besuch im CSCS in Manno und ihre kompetente Auskunft zu all meinen Fragen bezüglich des Hochleistungs-Rechenzentrums zu Dank verpflichtet. Bruno Meni und Gion Bundi sowie Wolfgang Seifert und Dominik Brem danke ich, dass sie die Messungen in den Serverräumen möglich machten.

Nicht zuletzt gilt ein besonderer Dank meinen Betreuern Dordaneh Arangeh und Dominik Brem, welche mir im Verlauf dieser Arbeit mit fachlichem Wissen und methodischer Unterstützung stets zur Seite standen.

Zürich, 25. Oktober 2010

Christoph Mäder

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis.....	X
1 Einleitung.....	1
1.1 Historische Entwicklung von Rechenzentren	1
1.2 Weltweiter Stromverbrauch der IT-Branche.....	2
1.3 Die ETH Zürich	3
1.4 Problemformulierung und Zielsetzung	3
1.5 Abgrenzung der Arbeit.....	4
2 Grundlagen.....	5
2.1 Definitionen	5
2.2 Energie	5
2.3 Power Usage Effectiveness und Datacenter Infrastructure Efficiency	8
2.4 Betriebssicherheit.....	9
2.5 Kosten	10
2.6 Vergleichs-Indikator	12
3 Methodik und Vorgehen.....	13
3.1 Bestandsaufnahme	13
3.2 Energieverbrauch	14
3.3 Energiemessungen	15
3.4 Betriebssicherheit.....	16
3.5 Kostenberechnung.....	17
3.6 Optimierungsansätze	18
4 Präsentation der Resultate	19
4.1 Klassifizierung	19
4.2 Energieeffizienz	21
4.3 Betriebssicherheit.....	23
4.4 Kostenstruktur	23
5 Analyse der Resultate	27
5.1 Anzahl und Fläche	27
5.2 Energieverbrauch und Energieeffizienz	27
5.3 Kosten	29
5.4 Qualitativer Vergleich.....	30
5.5 Externer Vergleich	32
6 Optimierungsansätze und Handlungsempfehlungen.....	33
6.1 Optimierung des Energieverbrauchs	33
6.2 Optimierung der Kosten.....	35
6.3 Optimierung der politischen Situation	38
6.4 Handlungsempfehlungen	39
6.5 Vorschlag zur praktischen Umsetzung.....	42
7 Diskussion	49
7.1 Fazit.....	49
7.2 Einschränkungen.....	49
7.3 Weitere Massnahmen.....	50
7.4 Weiterführende Arbeiten.....	50
8 Glossar	51
9 Literaturverzeichnis.....	52
10 Interview- und Besprechungsverzeichnis	55
11 Eigenständigkeitserklärung	57

Abkürzungsverzeichnis

AGRL	Departement Agrar- und Lebensmittelwissenschaften der ETH Zürich
ARCH	Departement Architektur der ETH Zürich
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BAUG	Departement Bau, Umwelt und Geomatik der ETH Zürich
BFE	Bundesamt für Energie
BIOL	Departement Biologie der ETH Zürich
BITKOM	Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BSSE	Departement Biosysteme der ETH Zürich
CHAB	Departement Chemie und angewandte Biowissenschaften der ETH Zürich
COP	Coefficient of Performance (Energieeffizienz einer Kälteanlage)
DCeP	Datacenter Energy Productivity (Produktivität der Energie eines Rechenzentrums)
DCiE	Datacenter Infrastructure Efficiency (Energieeffizienz eines Rechenzentrums)
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
ERDW	Departement Erdwissenschaften der ETH Zürich
ETH	Eidgenössisch Technische Hochschule Zürich
EWZ	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich
Flops	Floating Point Operations per Second (Geschwindigkeit einer Rechenoperation eines Computers)
GESS	Departement Geistes-, Sozial- und Staatswissenschaften der ETH Zürich
HPC	High Performance Computing (Hochleistungsrechnen)
ID	Informatikdienste der ETH Zürich
INFK	Departement Informatik der ETH Zürich
ISG	Informatik Support Gruppe eines Departements der ETH Zürich
ISL	Informatik Support Leiter eines Departements der ETH Zürich
IT	Informationstechnik, gleichbedeutend mit Informations- und Kommunikationstechnologie
ITEK	IT-Expertenkommission bestehend aus ISLs und Vertretern der ID ETH Zürich
ITET	Departement Informationstechnologie und Elektrotechnik der ETH Zürich
MATH	Departement Mathematik der ETH Zürich
MATL	Departement Materialwissenschaft der ETH Zürich
MAVT	Departement Maschinenbau und Verfahrenstechnik der ETH Zürich
Mb	Megabit (Masseinheit einer Datenmenge)
MB	Megabyte (1024x1024x8 Bit)
MTEC	Departement Management, Technologie und Ökonomie der ETH Zürich
PHYS	Departement Physik der ETH Zürich
PUE	Power Usage Effectiveness (Energieeffizienz eines Rechenzentrums)
RZ	Rechenzentrum
TB	Terabyte (10 ⁶ MB)
TCO	Total Cost of Ownership
ULK	Umluftkühlgerät
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
UWIS	Departement Umweltwissenschaften der ETH Zürich

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung von Stromverbrauch und Stromkosten in Deutschland von 2000 bis 2013.....	2
Abbildung 2: Stromverteilung in einem Serverraum	6
Abbildung 3: Prinzip-Schema der Kühlung an der ETH Zürich.....	7
Abbildung 4: Vergleich Annahmen und Messungen für das Rechenzentrum CAB D56	16
Abbildung 5: Serverracks am CSCS in Manno.....	19
Abbildung 6: Aufteilung des Stromverbrauchs im dezentralen Rechenzentrum CAB D56	21
Abbildung 7: Aufteilung des Stromverbrauchs im zentralen Rechenzentrum CLA C5	21
Abbildung 8: Aufteilung des Stromverbrauchs im dezentralen Rechenzentrum CAB D53	21
Abbildung 9: Prinzip der Kalt- / Warmgangtrennung.....	22
Abbildung 10: Einhausung von Serverracks	22
Abbildung 11: Aufteilung des Stromverbrauchs beim mittleren Serverraum ML F52.....	22
Abbildung 12: Geplante Kostenstruktur des Hochleistungs-RZ in Lugano-Cornaredo	24
Abbildung 13: Kostenstruktur des zentralen RZ HIT D13	24
Abbildung 14: Kostenstruktur des dezentralen RZ CAB D56	24
Abbildung 15: Kostenstruktur des zentralen RZ CLA C5	25
Abbildung 16: Kostenstruktur des dezentralen RZ BSA C249.....	25
Abbildung 17: Kostenstruktur mittlerer Serverraum ML F52	26
Abbildung 18: Kostenstruktur Büroservers	26
Abbildung 19: Flächenverteilung und Anzahl Räume der Raumklassen.....	27
Abbildung 20: Energieverteilung der Raumklassen.....	27
Abbildung 21: Energiedichte und PUE der Raumklassen.....	28
Abbildung 22: Aufteilung der Kosten auf die Raumklassen.....	29
Abbildung 23: Kostenvergleich der Raumklassen	29
Abbildung 24: Zusammenhang von IT-Hardwarekosten und IT-Leistung.....	30
Abbildung 25: Vergleich von Betriebssicherheit und Kosten.....	30
Abbildung 26: Entscheidungsdiagramm für den Serverstandort.....	31
Abbildung 27: Externer Vergleich der Energieeffizienz.....	32
Abbildung 28: Vergleich der Housing-Kosten an der ETH Zürich und extern	32
Abbildung 29: Einsparpotential einer Einhausung an der ETH Zürich	33
Abbildung 30: Konsolidierung und Virtualisierung,.....	36
Abbildung 31: Sparpotential der Optimierungsansätze in Abhängigkeit von Aufwand resp. Realisierbarkeit.....	40
Abbildung 32: Projektplan zur Umsetzung der Optimierungsansätze	42
Abbildung 33: Vorgesehener Beschaffungsprozess für IT Waren und Dienstleistungen an der ETH Zürich	44
Abbildung 34: Möglicher Beschaffungsprozess für einen neuen Server an der ETH Zürich.....	46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifizierung der Serverräume an der ETH Zürich.....	19
Tabelle 2: Betriebssicherheits-Levels und Einteilung der Raumklassen	23
Tabelle 3: Kostenvergleich zwischen virtuellen und physischen Servern	37

1 Einleitung

1.1 Historische Entwicklung von Rechenzentren

Die Geschichte der Computer begann mit wenigen Grosscomputern, welche sehr gross und teuer waren. Neben Platzbedarf und Sicherheit führte besonders die Komplexität im Umgang mit diesen Maschinen dazu, dass sie in eigens dafür geschaffenen Räumlichkeiten betrieben wurden. Zu Beginn der 80er Jahre wurden Microcomputer, Computer wie wir sie heute kennen, immer populärer. Noch im selben Jahrzehnt entwickelte sich das Client-Server Netzwerk zum Standard [1]. Dabei greifen mehrere Computer, sogenannte Clients, auf den Service eines zentralen Computers, den Server, zu [2]. Mit dem Boom des Internets in den 90er Jahren wurden immer mehr dieser Server notwendig, besonders um Onlineservices wie Internet und E-Mail bereitzustellen. Platzbedarf und Komplexität dieser Geräte stiegen laufend. Das Problem wurde mit dem Bau von speziell dafür entwickelten Räumen, sogenannten Internet Rechenzentren (grosse Serverräume) gelöst, was entsprechend hohe Kosten zur Folge hatte [1]. Diese Art von Rechenzentren bezeichnet Microsoft als Generation 1. Generation 2 wird durch Standardisierung und das Rack charakterisiert. Es bietet durch den parallelen Einschub der Server übereinander die Möglichkeit einer sehr dichten Anordnung. Die Entwicklung geht heute soweit, dass die als Generation 3 bezeichneten Rechenzentren in Containern fixfertig gebaut werden. Der grosse Vorteil ist die Skalierbarkeit durch das Anschliessen eines weiteren Containers. Microsofts Zukunftsvision, Generation 4, sind vorgefertigte Komponenten, welche nicht mehr in einem geschlossenen Raum, sondern unter freiem Himmel stehen. Der modulare Aufbau der Komponenten ermöglicht ein noch grösseres Mass an Flexibilität im Bezug auf den Ausbau von Rechen- und Speicherleistung. Zudem kann, so Microsoft, die Energieeffizienz deutlich gesteigert werden [3].

Die Technologie wird durch einen immer grösseren Bedarf an Rechen- und Speicherleistung getrieben. Das Mooresche Gesetz besagt, dass sich die Anzahl Transistoren pro Chipfläche etwa alle zwei Jahre verdoppelt [4]. Diese Entwicklung zeigt sich nicht nur bei Rechenzentren, sondern auch bei den Servern selbst. Diese werden immer kleiner und leistungstärker. Heute ist der von der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit IBM entwickelte Supercomputer „Aquasar“ so gross wie ein Kleiderschrank, in 15 Jahren könnte er aber bereits die Grösse eines Zuckerwürfels haben [5]. Neben dem technologischen Fortschritt zeichnet sich auch ein Modellwechsel ab: weg vom physischen Server. Die Servervirtualisierung ermöglicht die Unterteilung eines physischen in mehrere virtuelle Server. Diese virtuellen Maschinen können dieselben Aufgaben wie die physischen Server übernehmen. Weil sich aber mehrere virtuelle Server die Ressourcen eines physischen Gerätes teilen, sind bedeutend weniger physische Maschinen notwendig, was den Platzbedarf deutlich reduziert [6]. Der Gedanke geht soweit, dass die Rechen- oder Speicherkapazität über das Internet bezogen werden kann und nur der effektiv genutzte Teil verrechnet wird. Diese Form der IT-Nutzung wird als „Cloud Computing“ bezeichnet. Der Unterschied zur Virtualisierung besteht darin, dass die physischen Ressourcen nicht mehr selbst verwaltet werden, sondern von einem spezialisierten Anbieter [6]. Neben Standardisierung und Skaleneffekten tragen markant reduzierte Systemmanagementkosten zur Attraktivität von „Cloud Computing“ bei. Dadurch konnte die North Carolina State University die Lizenzkosten für Software um bis zu 75% senken [6]. „Cloud Computing“ wird zusammen mit der technologischen Entwicklung und dem modularen Aufbau der Rechenzentren zu einigen grossen Anbietern von „Cloud“ Lösungen führen. Grössere Unternehmen werden wohl weiterhin ihre eigenen Rechenzentren betreiben.

1.2 Weltweiter Stromverbrauch der IT-Branche

Die historische Entwicklung zeigt, dass die Anforderungen an die Informationstechnologie (IT) laufend gestiegen sind. Dies ist auch an der ETH Zürich nicht anders: Zentrale Dienste, Lehre und insbesondere Forschung benötigen immer mehr Rechenleistung und Speicherkapazität sowie grössere Bandbreiten für eine schnellere Datenübertragung. Trotz immer kleineren und leistungsfähigeren Komponenten führt dieser Trend zu einem stetig steigenden Energiekonsum [7]. Die Konzentration von Rechenpower führt ihrerseits zu erhöhten Anforderungen an die Kühlung solcher Geräte, was den Strombedarf deutlich erhöht. So ist es nicht erstaunlich, dass der Anteil der IT-Branche am Gesamtstromverbrauch in der Schweiz wie auch weltweit bei etwa 10% liegt [8-9]. In Deutschland lag dieser Wert 2007 bei 10.5% [10]. Das Marktforschungsinstitut „Gartner“ hat errechnet, dass die daraus resultierenden CO₂-Emissionen etwa 2% des weltweiten Gesamtausstosses entsprechen und ähnlich gross wie diejenigen des Luftverkehrs sind [11].

Während in der Schweiz im Jahr 2008 total 58.7TWh (2009: 57.5TWh) Strom bezogen wurden, waren es in Deutschland 639TWh [12-14]. Davon entfielen 1.6% (10.1TWh) auf Rechenzentren [15]. Nimmt man den Anteil des IT Gewerbes am totalen Stromverbrauch (10%) als Basis, so liegt der Schluss nahe, dass die Szenarien „Business as usual“, „Moderate Effizienzsteigerung“ und „Green IT“ auch auf die Schweiz übertragbar sind. Ersteres bezeichnet eine gleichbleibende Entwicklung. Die „moderate Effizienzsteigerung“ geht davon aus, dass mindestens die Hälfte aller Rechenzentren die 2008 verfügbaren energieeffizienten Technologien einsetzen und beim „Green IT“ Szenario verwenden 90% der Rechenzentren diese „Best-Practice-Lösungen“. Das „Borderstep Institut“ errechnete, dass beim „Business as usual“ Szenario der Stromverbrauch von 2008 bis 2013 von 10.11TWh auf 14.86TWh ansteigt (vgl. Abbildung 1). In dieser Periode könnte der Energieverbrauch bei einer moderaten Effizienzsteigerung aber auch um 1TWh gesenkt werden. Beim „Green IT“ Szenario ist sogar ein Rückgang um 34% möglich [15]. Während sich die Stromkosten beim „Business as usual“ Szenario zwischen 2008 und 2013 verdoppeln, ist beim „Green IT“ Szenario ein Rückgang um 114 Mio. € möglich (vgl. Abbildung 1).

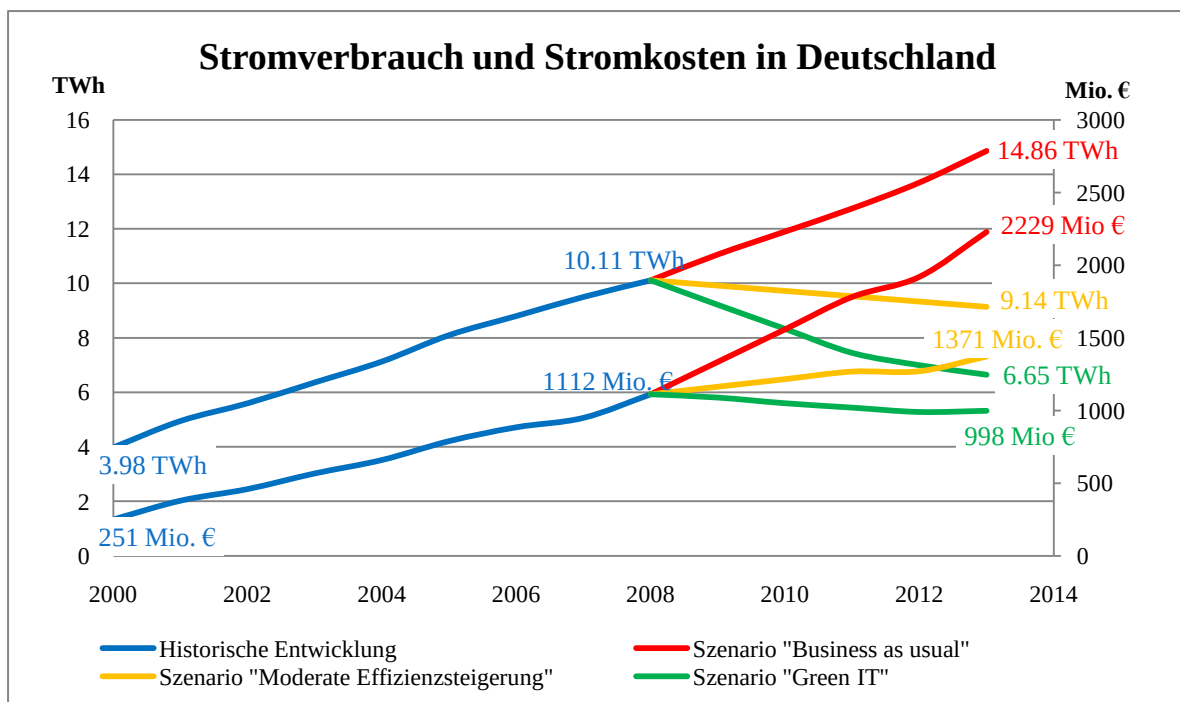


Abbildung 1: Entwicklung von Stromverbrauch und Stromkosten in Deutschland von 2000 bis 2013 (Eigene Darstellung basierend auf BMU [15])

1.3 Die ETH Zürich

Die Eidgenössisch Technische Hochschule (ETH) Zürich wurde 1855 gegründet und ist eine der international führenden Universitäten auf dem technisch-naturwissenschaftlichen Gebiet. In Rankings wird sie immer wieder zu den weltbesten Hochschulen gezählt. Um den Hochschulbetrieb mit gut 15'000 Studierenden und über 400 Professorinnen und Professoren zu ermöglichen, sind mehr als 9'000 Mitarbeiter (rund 7'000 Vollzeitäquivalente) angestellt [16]. Forschung und Lehre sind in 16 eigenständige Departemente gegliedert, welche der Schulleitung unterstellt sind¹ [17]. Die Informatikdienste (ID), wozu auch die Abteilung Kommunikation zählt, gehören zu den Infrastrukturbereichen der zentralen Organe und sind dem Vizepräsident Personal und Ressourcen unterstellt. Sie unterstützen alle Angehörigen der ETH Zürich mit Informatik-Dienstleistungen [18].

An der ETH Zürich wurden 2009 106GWh Strom benötigt, was 1.8‰ am schweizerischen Total ausmacht [13, 19]. Die jährlichen CO₂-Emissionen durch Server- und Kommunikationsräume belaufen sich auf 350 Tonnen oder 1.5% des Gesamtausstosses der ETH Zürich (vgl. Anhang 3.1) [20]. Die Serverräume alleine verursachen 1.3% des CO₂-Ausstosses der ETH Zürich, obwohl die Umweltbelastung des Stromes sehr niedrig ist (vgl. Anhang 3.1). Diese CO₂-Belastung von 1.3% ist mehr als doppelt so hoch wie der weltweite Durchschnitt von 0.5% [21]. Dieser Mittelwert stammt von verschiedenen Branchen aus Entwicklungs- und Industrieländern.

1.4 Problemformulierung und Zielsetzung

Die historische Entwicklung im Bereich IT führte an der ETH Zürich nicht nur zu einem Anstieg von Energiebedarf und Kosten, sondern auch zu einer immer grösseren Verteilung der Geräte in die verschiedensten Räume. Obwohl an der ETH Zürich die grossen Serverräume bekannt sind, fehlt eine Aufstellung über Art, Anzahl, Grösse und Lokalität aller Serverräume. Ebenso fehlt eine detaillierte Übersicht, wo wie viel Energie wofür benötigt wird. An den Departementen sind grundsätzlich nur die Beschaffungskosten von Hard- und Software bekannt, weil die restlichen Kosten (inkl. Strom) von der ETH Zürich zentral getragen werden. Da es keine Aufstellung über die einzelnen Kostenfaktoren gibt, wird die Suche nach einem geeigneten Ansatz zur nachhaltigen Kostensenkung deutlich erschwert. Dasselbe Bild zeigt sich, besonders bei der Energie, auch an nordamerikanischen Hochschulen und in der Industrie, wie Studien von „educause“ und der Gruppe „Energieeffizienz in Rechenzentren“ belegen [4, 22]. Es ist davon auszugehen, dass auch in Zukunft laufend mehr Rechenleistung benötigt wird (vgl. Abbildung 1), was eine Bestandsaufnahme sowie eine Energie- und eine Kostenanalyse umso wichtiger macht.

Darum soll mit dieser Arbeit eine Bestandsaufnahme der Serverräume an der ETH Zürich im weiteren Sinn gemacht werden, um einen Überblick bezüglich aktuellem Stand zu erhalten. Mit einer Energieanalyse soll aufgezeigt werden, wofür der Strom effektiv benötigt wird und an welcher Stelle effizienzsteigernde Massnahmen sinnvollerweise umgesetzt werden sollen. Ziel ist nicht nur die Reduktion der Stromausgaben, sondern die nachhaltige Senkung der gesamten Kosten der Serverräume. Zu diesem Zweck soll die Kostenstruktur der Räume detailliert untersucht und anschliessend ein Vergleich im Sinne eines internen Benchmarkings gemacht werden. Dies ermöglicht die Formulierung sinnvoller Optimierungsvorschläge. Abgeschlossen werden soll diese Arbeit mit einem Vorschlag zur praktischen Umsetzung der Optimierungsvorschläge.

¹ Ein Organigramm der ETH Zürich ist in Anhang 1 zu finden.

1.5 Abgrenzung der Arbeit

Diese Arbeit beschränkt sich auf die Serverräume der ETH Zürich an den Standorten Zentrum und Hönggerberg (Science City). Aufgrund ihrer geographischen Abgrenzung und ihres autonomen Betriebs entziehen sich das Supercomputing Center CSCS in Manno und das Rechenzentrum des Departementes of Biosystems Science and Engineering (BSSE) in Basel dem Fokus dieser Arbeit. Sie werden jedoch zu Vergleichszwecken teilweise mit einbezogen.

Die Kommunikationsräume werden nach der Klassifizierung der Räumlichkeiten nicht weiter betrachtet. Dies hat folgende Gründe: Ohne Kommunikationsräume ist weder ein interner, noch ein externer Datenverkehr möglich. Server und andere IT-Geräte könnten also gar nicht erst betrieben werden. Darum müssen diese Räume bestehen bleiben. Zudem können sie im Rahmen dieser Arbeit kaum optimiert werden, da sie nur 9% der gesamten Kosten und 7% des totalen Stromverbrauchs von Server- und Kommunikationsinfrastruktur ausmachen. Des Weiteren befinden sie sich in Räumen, die kaum anders genutzt werden können. Dies sind in der Regel Lagerräume, teilweise sogar nur Kommunikationsschränke.

2 Grundlagen

2.1 Definitionen

2.1.1 Server

Ein Server ist ein Computer, der einer Gruppe von anderen Computern, sogenannten Clients, einen oder mehrere Dienste (Services) zur Verfügung stellt. Er wird demzufolge von mehreren Personen benutzt und weist ausserdem hohe Anforderungen bezüglich Sicherheit und Verfügbarkeit auf [2]. Wo ein Server steht, spielt für diese Arbeit keine Rolle, entscheidend ist, dass er mehreren Clients mindestens einen Service bietet. Arbeitsplatz-Computer gehören nicht dazu, weil sie wohl über ein Netzwerk mit andern Computern verbunden sein können, diesen jedoch keinen Dienst zur Verfügung stellen.

An der ETH Zürich sind viele unterschiedliche Arten von Servern zu finden. Beispiele sind Server, welche Resultate von Berechnungen oder Daten von Untersuchungen Arbeitsplatz-Computern zur Verfügung stellen, solche welche einen Dienst einer eingeschränkten Gruppe zur Verfügung stellen (z.B. Drucken an einem Departement) und solche, welche ihre Services der gesamten ETH Zürich zur Verfügung stellen (z.B. E-Mail).

2.1.2 Serverraum

Für diese Arbeit umfasst der Begriff Serverraum all jene Räume, in welchen sich mindestens ein Server befindet, unabhängig von deren Anzahl und Ausstattung der Räumlichkeit.

2.1.3 Rechenzentrum

Als Rechenzentrum (RZ) wird in dieser Arbeit ein grosser Serverraum mit diversen IT-Geräten, unterbrechungsfreier Stromversorgung (USV), spezieller Kühlung und baulichen Massnahmen, wie einem Doppelboden für die Kühlung, bezeichnet. Kapitel 4.1 zeigt, welche Eigenschaften ein Rechenzentrum an der ETH Zürich aufweist.

2.2 Energie

In einen Serverraum wird Strom eingespeist mit dem Ziel, möglichst viel Output in Form von Rechenoperationen (Flops), Datenübertragungen (Mb/s) und Speicherkapazität (TB) zu generieren. Dieser Output wird im Folgenden als IT-Dienstleistung bezeichnet (rot eingezeichnet in Abbildung 2). Der eingespeiste Strom wird über eine unterbrechungsfreie Stromversorgung an die IT-Geräte Server, Cluster, Storage und Kommunikation verteilt. Dieser Anteil des eingespeisten Stromes wird von nun an als IT-Leistung bezeichnet (orange eingezeichnet in Abbildung 2). Die unterbrechungsfreie Stromversorgung ermöglicht bei einem kurzzeitigen Stromausfall den weiteren Betrieb der IT-Geräte. Dieser Stromanteil (IT-Leistung) wird beim Generieren der IT-Dienstleistung in Wärme umgewandelt und muss über eine Kühlung abgeführt werden, um eine Überhitzung des Raumes zu verhindern. Die Hilfskomponenten unterbrechungsfreie Stromversorgung, Licht und Kühlung (grün eingezeichnet in Abbildung 2) beziehen den Strom direkt vom Versorgungsnetz. Diesen wandeln sie bei der Ausführung ihrer Aufgaben ebenfalls in Wärme um, welche „neutralisiert“ werden muss. Abbildung 2 gibt einen Überblick über diese Prozesse und die auftretenden Verluste (blau eingezeichnet).

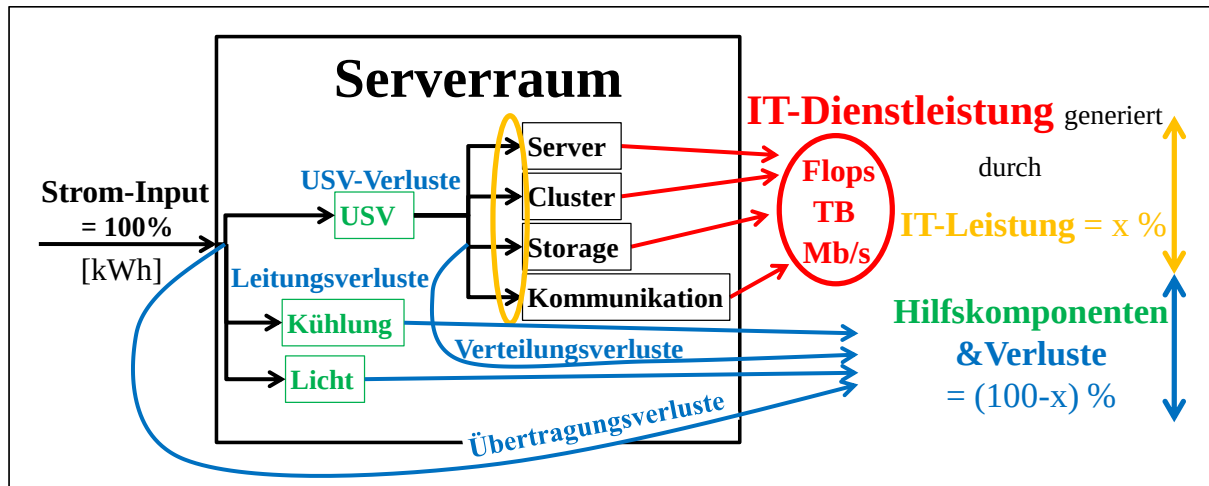


Abbildung 2: Stromverteilung in einem Serverraum

Im Folgenden werden für die Betrachtung der Energieeffizienz eines Serverraumes zwei Gruppen unterschieden: Diejenige, welche einen Beitrag an die IT-Dienstleistung liefert und diejenige, welche keinen Beitrag liefert. Zu den Lieferanten zählen die IT-Geräte Server, Cluster und Storage sowie Kommunikation. Zu den Nicht-Lieferanten zählen Verluste und die Hilfskomponenten USV, Licht und Kühlung, welche ihrerseits in Kälteerzeugung und Lüftung und Befeuchtung aufgeteilt wird. Die in dieser Arbeit betrachteten Stromverbraucher werden nun kurz erläutert.

2.2.1 Server, Cluster und Storage

Zu Server, Cluster und Storage zählt jeglicher Stromverbrauch, der zur Erzeugung von Rechen- und Speicherleistung notwendig ist. Das schliesst die dafür notwendige Infrastruktur wie Serverswitches zur rauminternen Kommunikation der Server mit ein.

2.2.2 Kommunikation

Zur Kommunikation zählt der Strombedarf von Switches und Routern, die zur Verbindung ausserhalb des Raumes eingesetzt werden. Serverswitches zur rauminternen Kommunikation werden bei der Gruppe Server, Cluster und Storage berücksichtigt.

2.2.3 Kälteerzeugung

Die Kälteerzeugung erfolgt an der ETH Zürich über zentrale Kälteanlagen. Abbildung 3 gibt einen Überblick über das Prinzip der Kühlung.

Die Effizienz einer Kälteanlage wird mit dem COP (Coefficient of Performance) ausgedrückt. Dieser gibt das Verhältnis von elektrischer Energie (Strom) zur produzierten Kälteleistung an [23]. Ein COP von 4 bedeutet demnach, dass 1kW_{el} Eingangsstrom $4\text{kW}_{\text{Kälte}}$ auf einem bestimmten Niveau erzeugen kann. Dabei ist der Stromverbrauch der Hilfsbetriebe wie Pumpen, welche das Kaltwasser an den Zielort und wieder zurück fördern, bereits eingerechnet. Ohne Hilfsbetriebe wird an der ETH Zürich von der sogenannten Leistungsziffer gesprochen.

2.2.4 Lüftung und Befeuchtung

Um die vom Wärmetauscher an die Umgebungsluft abgegebene Kälte im ganzen Raum zu verteilen, wird ein Ventilator eingesetzt. Das Prinzip der Befeuchtung funktioniert ähnlich: Je nach relativer Luftfeuchtigkeit wird die Luft be- oder entfeuchtet bevor sie eingebracht wird (vgl. Abbildung 3). Der für diese Prozesse notwendige Strom wird unter Lüftung und Befeuchtung erfasst.

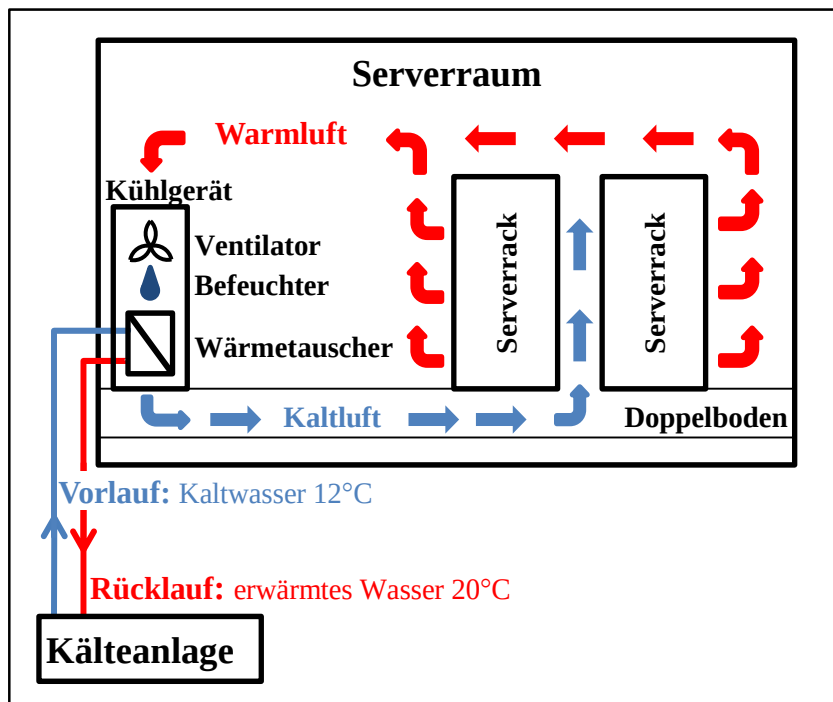


Abbildung 3: Prinzip-Schema der Kühlung an der ETH Zürich

2.2.5 USV

Eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) gewährleistet die Funktionalität der angeschlossenen Komponenten bei einem kurzzeitigen Stromausfall (bis maximal 20 Minuten) und gleicht Schwankungen im Versorgungsnetz aus. Bei einem längeren Stromausfall ermöglicht sie ein gesichertes Herunterfahren der IT-Geräte. Im Falle eines Unterbruchs der Stromversorgung bezieht die USV den Strom von Batterien, welche von ihr laufend geladen werden.

Die doppelte Stromumwandlung² dieses Prozesses verursacht relativ hohe Verluste. Zudem benötigt die Anlage für den Umwandlungsprozess selbst auch Strom [24].

2.2.6 Beleuchtung

Serverräume haben wie alle Räume eine Beleuchtung, welche Strom benötigt. Im Gegensatz zu den übrigen Verbrauchern wird der Strom für die Beleuchtung jedoch nicht konstant benötigt, sondern nur dann, wenn sich eine Person im Serverraum befindet.

2.2.7 Verluste

Darunter fallen Verluste bei der Leitung, der Übertragung und der Verteilung des Stromes. Dabei wird ein kleiner Teil des Stromes in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben, wodurch nicht mehr der gesamte Eingangsstrom am Ziel ankommt. Für die energetische Betrachtung der Serverräume werden diese Verluste pauschal zusammengefasst.

² Bei einer USV-Anlage wird der Wechselstrom ab dem Versorgungsnetz in Gleichstrom umgewandelt, um die Batterien zu laden. Der Stromkreis wird geschlossen, indem der Gleichstrom von den Batterien wieder zurück zur USV-Anlage fließt, wo er wieder in Wechselstrom umgewandelt wird. Anschliessend wird er den Verbrauchern zugeführt.

2.3 Power Usage Effectiveness und Datacenter Infrastructure Efficiency

Um die Energieeffizienz eines Serverraumes messen zu können, definierte der globale Verband der IT-Hersteller „The Green Grid“ den PUE (Power Usage Effectiveness), respektive den reziproken Wert DCIE (Datacenter Infrastructure Efficiency) [25].

$$PUE = \frac{\text{Total Facility Power}}{\text{IT Equipment Power}} = \frac{\text{RZ Gesamtleistung}}{\text{IT Leistung}} = \frac{\text{Strominput}}{\text{IT Leistung}}$$

$$DCIE = \frac{1}{PUE} = \frac{\text{IT Equipment Power}}{\text{Total Facility Power}} = \frac{\text{IT Leistung}}{\text{RZ Gesamtleistung}} = \frac{\text{IT Leistung}}{\text{Strominput}}$$

Der DCIE sagt aus, wie viel Prozent des Strom-Inputs (in Abbildung 2 – x %) auch tatsächlich für die IT-Geräte, also zum Generieren der IT-Dienstleistung, verwendet werden. Der PUE seinerseits gibt an, wie viele Kilowatt nötig sind, um ein Kilowatt den IT-Geräten Server, Cluster, Storage und Kommunikation zuzuführen [25]. Erstrebenswert ist der theoretisch mögliche Wert von 1.0, wobei alle Energie auch tatsächlich in die Geräte, welche eine IT-Dienstleistung erbringen, fließen würde. Der PUE ist heute in der Industrie als Indikator weit verbreitet und seine Werte variieren zwischen 1.18 (Google) und 3 bis 4 (Finanzindustrie) [25-26]. Gemäss Frau Gilly, Associate Director Business Services CSCS, und Herr Eggeler, Abteilungsleiter RZ Neubauten und Betrieb der Stadt Zürich, liegen diese hohen Kennzahlen bei Banken und Versicherungen an den hohen Sicherheitsanforderungen, welche Redundanzen und einen entsprechend höheren Energieverbrauch nötig machen.

Im Jahr 2009 führte „The Green Grid“ eine Umfrage bezüglich Energieeffizienz bei 151 Firmen durch. Die 60, welche eine Angabe zum PUE ihres Rechenzentrum machen konnten, weisen einen durchschnittlichen PUE von 2.03 auf [27]. Andere Studien weichen teilweise deutlich von diesen Resultaten ab. Ein Benchmarking des „Lawrence Berkeley National Laboratory“ aus dem Jahr 2006 ergab einen mittleren DCIE von 57% (PUE = 1.86) und eine Studie der „Technischen Universität Berlin“ ermittelte 2008 einen PUE von 1.74 [23, 28]. Allerdings untersuchten sowohl das „Lawrence Berkeley National Laboratory“ als auch die „Technische Universität Berlin“ mit 19 respektive 16 Rechenzentren deutlich weniger Räumlichkeiten als „The Green Grid“. Leider wurden aus Datenschutzgründen in keiner dieser Studien genauere Angaben zu den Rechenzentren gemacht, was eine Einschätzung der Werte schwierig macht. Dennoch ist anzunehmen, dass diejenigen RZ-Betreiber, welche die Energieflüsse messen und somit eine Aussage zum PUE machen können, auch Anstrengungen unternehmen, um die Effizienz zu steigern. Die ineffizienten Serverräume auf der anderen Seite werden wohl selten gemessen und tauchen somit in diesen Studien kaum auf. Dies legt die Vermutung nahe, dass der rapportierte Wert besser ist als der branchenweite Durchschnitt. Demnach ist wohl das Ergebnis der Umfrage von „The Green Grid“ aufgrund der grössten Stichprobe der realistischste Wert. Zumal sich dieser mit der allgemeinen Annahme eines branchenweiten PUEs von 2 deckt [29-30]. Gemäss den Angaben von Frau Gilly, liegt der PUE des heutigen Supercomputing Centers in Manno bei etwa 1.78, für den Neubau in Lugano-Cornaredo wird ein PUE von 1.23 angestrebt.

2.4 Betriebssicherheit

Die Tier-Levels des „Uptime Institute“ zur Beurteilung der Ausfallsicherheit eines Rechenzentrums haben sich als internationaler Standard durchgesetzt [31]. Die Ausfallursache kann geplant oder ungeplant sein: Wartung, Unterbruch der Stromversorgung oder Überhitzung des Raumes. Mit USV und Kühlung kann diesen Risiken weitgehend entgegengewirkt werden. Zudem existieren in grossen RZ redundante Kühlgeräte, um Wartungsarbeiten oder Geräteausfälle abzufangen. Neben der Ausfallsicherheit sind bei Serverräumen auch die physische und die virtuelle Sicherheit wichtig. Darunter ist der Schutz vor physischen, respektive virtuellen Zugriffen zu verstehen. Ersteres kann durch den sicheren Verschluss des Raumes und eine Zutrittskontrolle erfolgen, während für die virtuelle Sicherheit ein geschütztes Netzwerk nötig ist. Für die Betriebssicherheit wird nur die physische Sicherheit betrachtet, da bei der virtuellen Sicherheit keine Unterscheidung bezüglich einzelner Räume möglich ist. Ein Server kann an jedem beliebigen Ort der ETH Zürich in ein Servernetzwerk eingebunden werden, womit er vor einem virtuellen Angriff geschützt ist. Obwohl einige der im Folgenden beschriebenen Kriterien zur Beurteilung der Betriebssicherheit denjenigen des „Uptime Institutes“ sehr ähnlich sind, dürfen die Levels in Kapitel 4.3 nicht mit den Tier-Levels gleichgesetzt werden. Grund dafür ist, dass der Kreis der Kriterien erweitert wurde, die Unterscheidungsmerkmale zwar ähnlich, aber nicht immer gleich sind und an der ETH Zürich besondere Bestimmungen gelten. Eine interne Vorgabe verbietet beispielsweise den Einsatz von dieselbetriebenen Netzersatzanlagen bei einem Ausfall des Versorgungsnetzes, was die Verfügbarkeit eines Rechenzentrums beeinflusst [32].

2.4.1 Versorgungspfad

Beim Versorgungspfad steht die Stromversorgung des Raumes im Mittelpunkt. Dabei kann es sich um eine einfache (1 aktiver), eine einfache mit einem Zusatzpfad für den Ausfall des ersten Pfades (1 aktiver und 1 passiver) oder um zwei aktive Versorgungen handeln.

2.4.2 Redundanz

Die Redundanz beantwortet die Frage, was passiert, wenn ein Kühlgerät ausfällt. Mit steigender Ausfallsicherheit sind folgende Arten möglich: keine Redundanz (nur die Anzahl gerade nötiger Anlagen, also N), eine zusätzliche Anlage, um einen Ausfall (z.B. infolge Wartung) kompensieren zu können ($N+1$) oder die doppelte Anzahl mit je einem zusätzlichen Kühlgerät ($2(N+1)$).

2.4.3 Wartung

Das Kriterium Wartung gibt Auskunft über die Konsequenzen von Wartungsarbeiten. Dies kann ein Herunterfahren der Anlagen, ein Herunterfahren nur bei Arbeiten am Versorgungspfad oder einen weiterlaufenden Betrieb zur Folge haben.

2.4.4 Kühlung und USV

Bei der Betriebssicherheit wird nur unterschieden, ob eine Kühlung respektive eine USV vorhanden ist oder nicht. Die Art der Kühlung spielt dabei keine Rolle.

2.4.5 Physische Sicherheit

Weil alle Serverräume einen verschliessbaren Zugang haben, wird unterschieden, ob eine Zutrittskontrolle existiert oder nicht. Diese registriert Person und Zeitpunkt des Zutritts.

2.5 Kosten

Bei der Vollkostenrechnung werden sämtliche Kosten einem Kostenträger, in der Regel einem Produkt oder einer Dienstleistung, zugeordnet [33]. In der IT existiert ein sehr ähnliches Konzept, welches als „Total Cost of Ownership“ (TCO) bezeichnet wird. Dabei werden Investitions- und Betriebskosten unterschieden [34]. Erstere werden in der Regel in Form von kalkulatorischen Kosten berücksichtigt. Gemeint sind Aufwendungen, welche nicht zum Zeitpunkt der Verrechnung anfallen. Dies sind insbesondere Abschreibungen oder Amortisationen, bei welchen der einmalige Kaufaufwand auf die gesamte Lebensdauer verteilt wird. Betriebskosten können in Einzel- und Gemeinkosten unterteilt werden. Während sich erstere dem Kostenträger direkt zuordnen lassen, ist dies bei letzteren nicht der Fall [33]. Beispiele für Gemeinkosten sind Wartung an zentralen Anlagen, Raumflächen- oder Reinigungskosten.

Zur Vereinfachung wurde nicht ein einzelner Server als Kostenträger gewählt, sondern ein Serverraum. Somit kann das Problem der schwankenden Anzahl Server in einem Raum weitgehend umgangen werden. Zudem muss die Rauminfrastruktur nicht auf die Server umgelegt werden und flächenbezogene Gemeinkosten nicht ein zweites Mal auf die IT-Geräte.

Um ein möglichst komplettes Bild der Kosten eines Serverraumes zu erhalten, wurden im Sinne der Vollkostenrechnung für diese Arbeit folgende Kostenfaktoren identifiziert.

2.5.1 Investitionskosten

Amortisation Rauminfrastruktur

Dazu zählen die Infrastruktur des Raumes und Umbauarbeiten, welche spezifisch für ein Rechenzentrum gemacht wurden, jedoch nicht die Gebäudehülle. Zur Infrastruktur des Raumes gehören neben dem Doppelboden Elektroanlagen, Elektroverteilung, Kühlung, USV, Gebäudeautomation für diesen Raum und Sicherheitsaspekte wie Löschanlagen und Kontrollsysteme für den Zutritt. IT-Gerätschaften werden in einem separaten Faktor erfasst.

Amortisation IT-Hardware

Zur IT-Hardware zählt die „Infrastruktur der Server“. Gemeint sind Racks, Server, Cluster, Storage-Geräte und für ihren Betrieb nötige Komponenten, beispielsweise Serverswitches.

2.5.2 Betriebskosten

Personal: Technik und Betrieb

Zu diesem Personalaufwand zählen Kosten bezüglich Wartung der Technik sowie Management und Betrieb des Raumes. Nicht berücksichtigt wird der Aufwand für das Management der Software, welche auf dem Server läuft, also zum Beispiel Updates oder Konfigurationen. Diese Kosten könnten durchaus relevant sein, ihre Erfassung hätte aber den Rahmen dieser Arbeit gesprengt.

Management Overhead

Damit ist der Aufwand von Personen gemeint, welche sich im Rahmen ihrer Tätigkeit zusätzlich um einen oder mehrere Serverräume kümmern. Gemeint sind insbesondere Kontrollen, Austausch von defekter Hardware und Erneuerungen. Typischerweise wird diese Aufgabe von den Informatik Support Leitern wahrgenommen und fällt besonders bei kleineren Serverräumen an. Kosten für das Softwaremanagement wurden wiederum nicht berücksichtigt.

Serviceverträge

Darunter fallen Kosten für eine vertraglich geregelte Dienstleistung im Rahmen von Serverräumen. Dies sind beispielsweise Wartungen von Servern und Storage-Systemen oder die garantierte Reparatur innerhalb einer vertraglich festgesetzten Zeit.

Energie

Unter der Energie sind die Stromkosten sämtlicher Gerätschaften, die für den Betrieb des Raumes notwendig sind, zu verstehen. Dazu gehören IT-Geräte, Hilfskomponenten und Verluste.

Instandhaltung

Zur Instandhaltung zählen Wartungsarbeiten und planbare Erneuerung folgender Anlagen: USV, Kälte-, Kühl-, Lösch- und Elektroanlagen. Unter den planbaren Erneuerungen sind bekannte oder sehr gut abschätzbare, mehrjährige Instandhaltungskosten zu verstehen, welche zu gleichen Teilen auf die Lebensdauer verteilt werden.

Instandsetzung

Gemäss Schnittstellenregelung mit der Abteilung Bauten umfasst die Instandsetzung unvorhergesehene Reparaturen, kleine Erneuerungen und das Beheben von Störungen und Defekten, welche weniger als 20'000 CHF betragen.

Reinigung und Hauswartung

Unter Reinigung fallen die Kosten zur periodischen Reinigung eines Raumes. Zur Hauswartung zählen all jene Tätigkeiten, welche im „Service Level Agreement Dienstleistung Gebäudemanagement“ unter Punkt 2.6 „Hauswartung“ aufgeführt sind, insbesondere Rundgänge, Schliessen der Gebäude und Entsorgungen.³

Sicherheit

Gemeint sind die Kosten bezüglich physischer Sicherheit des Raumes. Dazu zählen beispielsweise das Austauschen eines Schliesssystems, nicht aber die Installation des Zutritt-Systems und Löschanlagen. Diese Kosten sind in der Rauminfrastruktur enthalten.

Flächenpreis

Der Flächenpreis entspricht dem jährlichen Mietpreis eines Quadratmeters Büro, resp. Lagerraum in Zürich.

³ Die Service Level Agreements sind abrufbar unter:
http://www.immobilien.ethz.ch/betrieb/docs/info_all/form_sla/Servicelevel_Agreement_Gebaeudemanagement_2010.pdf

2.6 Vergleichs-Indikator

Um eine Aussage bezüglich Produktivität eines Serverraums machen zu können, muss die geleistete Arbeit in Form von Flops, Mb/s und TB (vgl. Abbildung 2) ins Verhältnis zum Input gesetzt werden. Problematisch ist dabei, dass der Output schwierig zu messen ist und vor allem bei einem heterogenen Serverraum auf mehrere Grössen bezogen werden muss. Dies verunmöglicht einen sinnvollen Vergleich [35]. Bei einem Hochleistungs-RZ kann der Input nur auf die Rechenoperationen pro Sekunde (Flops) bezogen werden, weil die restlichen IT-Dienstleistungen vernachlässigbar sind. Bei heterogenen Serverräumen mit Servern, Clustern, Storage- und Kommunikations-equipment hingegen ist dies viel schwieriger, weil der eingehende Strom nicht nur auf Flops, sondern zusätzlich auch auf Mb/s und TB bezogen werden muss. Generiert ein Kilowatt Eingangsstrom in Rechenzentrum A beispielsweise 50'000 Flops und 2TB Speicher, in Rechenzentrum B aber 100'000 Flops und 1.5TB Speicher, so kann nicht gesagt werden, welches der beiden RZ nun „besser“ ist. Deshalb gibt es bis heute keine standardisierten Indikatoren, welche die Messung der Produktivität eines Serverraums ermöglichen [36]. „The Green Grid“ selbst räumt ein, dass der von ihnen vorgeschlagene Indikator „Datacenter Energy Productivity“ (DCeP) wohl gut definiert, in der Praxis jedoch schwierig zu messen ist [36].

$$DCeP = \frac{\text{Useful Work produced}}{\text{Total Energy consumed to produce that work}} = \frac{\text{Geleistete Arbeit}}{\text{Totaler Energieverbrauch}}$$

Um eine Aussage bezüglich Kosteneffektivität zu erhalten, müsste der Energieverbrauch durch die Kosten ersetzt werden. Somit würde geleistete Arbeit pro Kosten oder der reziproke Wert Kosten pro geleisteter Arbeit, respektive IT-Dienstleistung, resultieren. Die genannten Probleme verunmöglichen aber die Messung der geleisteten Arbeit und somit der Kosteneffektivität. Darum muss für den Output eine Vertretergrösse gefunden werden, welche diesen einerseits so gut wie möglich abbildet und andererseits gut messbar ist. Weil bei einem Server beim Generieren der IT-Dienstleistung die eingespeiste Energie in elektronische Impulse umgewandelt wird, dient der Strominput als Vertreter für den Output. Ausserdem ist diese Grösse vergleichsweise einfach zu messen. Somit werden die gesamten Kosten (TCO) auf den in die IT-Geräte eingespeisten Strom, die IT-Leistung, bezogen.

$$\text{Kosten pro IT Leistung} = \frac{\text{jährliche TCO}}{\text{IT Leistung}}$$

Dieser Indikator wird auch vom Prozessor-Chip Hersteller Intel vorgeschlagen, um die Kosten eines Serverraums zu messen [34]. Er ermöglicht eine sinnvolle Aussage bezüglich Kosten eines Rechenzentrums wie auch einen Vergleich der Serverräume untereinander. Die Produktivität eines Rechenzentrums kann er jedoch nicht korrekt abbilden. Dies liegt daran, dass mit der IT-Leistung nur eine Vertretergrösse für die geleistete Arbeit (Output) gefunden wurde und diese den technologischen Fortschritt und die Auslastung der Geräte nicht berücksichtigt. Ein fünf Jahre altes Gerät wird nicht dieselbe Arbeit verrichten können wie ein brandneues Gerät bei gleicher Eingangsenergie. Ein weiterer problematischer Aspekt ist die Auslastung der Geräte. Server verbrauchen Strom, selbst wenn sie keinen Output generieren. Diese Problematik kann auch unter Berücksichtigung des technologischen Fortschritts nicht umgangen werden.

3 Methodik und Vorgehen

3.1 Bestandsaufnahme

Ziel des ersten Schrittes war die Erfassung aller Serverräume an der ETH Zürich. Ausgangslage war die Datenbank des Portfoliomanagements des Infrastrukturbereichs Immobilien mit sämtlichen Räumen und ihrem Typ. In der Rechenzentren-Strategie ETHZ der ID⁴ ist eine etwas erweiterte Liste zu finden. Zudem konnte aus der Datenbank der Serversubnetze eine Liste mit sämtlichen Endungen dieser Subnetze erstellt werden. Das Sortieren ergab ein Verzeichnis von 197 Räumen. Telefonische Abklärungen zeigten, dass unter dem Typ Computerraum des Portfoliomanagements die grössten Serverräume erfasst sind, jedoch kleinere Serverräume auch in der Kategorie EDV-Raum zu finden sind. Allerdings enthalten nicht alle EDV-Räume einen Server. Die Anrufe zeigten zudem, dass sowohl die Liste des Portfoliomanagements als auch diejenige in der Rechenzentren-Strategie ETHZ nicht vollständig und nicht aktuell sind.

Abklärungen machten überdies deutlich, dass Anzahl Server und Raumausstattung sehr unterschiedlich sind. Deshalb wurden die 197 Räume in einem zweiten Schritt in Klassen eingeteilt. Ziel war es, einen Vergleich bezüglich Energieeffizienz, Betriebssicherheit und Kosten sowie eine zweckmässige Verallgemeinerung machen zu können. Dazu wurden die zuständigen Personen vor Ort (Informatik Support Leiter) in einem Interview zu Lokalität, Art und Anzahl der Serverräume, Energieverbrauch, Kosten und möglichen Optimierungsmassnahmen befragt.

Eine Klassifizierung von Serverräumen basiert häufig auf der Raumgrösse. Dieses Merkmal wurde für diese Arbeit nicht berücksichtigt, weil es an der ETH Zürich nicht aussagekräftig ist. In einem Büro mit 20m² ist beispielsweise ein einzelner Server zu finden, während in einem Lagerraum mit der Grösse von 10m² 20 oder mehr Geräte stehen. Ausserdem stehen in Schulungsräumen von ca. 50m² nur 10 Server.

Nachfolgend sind die Kriterien zur Klassifizierung der Räume aufgeführt, wobei darauf geachtet wurde, den Kriterienkatalog so übersichtlich wie möglich zu halten.

3.1.1 Anzahl Server

Da eine genaue Angabe bezüglich Anzahl Server sehr schwierig ist, wurden die vier Kategorien so gewählt, dass sie sich klar unterscheiden lassen: sehr viele (> 40), viele (≤ 40 und > 3), wenige (≤ 3) und keine (0). Zur Erfassung der Anzahl Server wurde der Grossteil der Räume mit mehr als drei Servern besichtigt und die übrigen durch telefonische Rücksprachen abgeklärt.

3.1.2 Switches / Router

Mit Hilfe der Abteilung Kommunikation wurden Räumlichkeiten unterschieden, in welchen Kommunikationsequipment (Router oder Switches) zur Verbindung innerhalb der ETH Zürich und zur Aussenwelt steht und solche, in welchen dieses Equipment nicht vorhanden ist.

3.1.3 Kühlung

Wird ein Raum gekühlt, so ist eine Wasserkühlung am Rack oder eine Luftkühlung möglich. Bei letzterer kann der Raum entweder über einen Doppelboden oder durch ein Umluftkühlgerät (ohne

⁴ Dabei handelt es sich um einen Entwurf einer Rechenzentren-Strategie und nicht um eine endgültige Version. Die für diese Arbeit verwendete Version ist im Literaturverzeichnis zu finden (vgl. [32]).

Doppelboden) direkt gekühlt werden. Besichtigungen und telefonische Rücksprachen dienten als Grundlage für die Einteilung.

3.1.4 Nutzung

Bei der Nutzung wird zwischen externem (ETH Zürich und andere Unternehmen) und internem (nur ETH) Gebrauch unterschieden. Bei letzterem kann eine weitere Aufteilung gemacht werden: ETH-weit oder auf Departementsebene beschränkt. Anhand der Liste aller Serversubnetze wurde unterschieden, ob in einem Raum mehr als ein Serversubnetz der zentralen Informatikdienste vorhanden ist oder nicht. Im ersten Fall erstreckt sich die Nutzung über die zentralen Informatikdienste ETH-weit, im zweiten Fall beschränkt sie sich auf die Departemente.

3.2 Energieverbrauch

In grossen Serverräumen werden die Stromverbraucher USV, Kälteerzeugung, Lüftung und Befeuchtung, Licht, Verluste, Kommunikation sowie Server, Cluster und Storage unterschieden. Da kleinere Serverräume in der Regel weniger Verbraucher haben, vereinfacht sich die energetische Betrachtung entsprechend.

Weil an der ETH Zürich nur sehr wenige spezifische Messungen des Energieverbrauchs von Serverräumen existieren, wurden in einem ersten Schritt momentane Werte, Berechnungen, Herstellerangaben und Literaturwerte verwendet. Nachfolgend wird die Vorgehensweise zur Ermittlung dieser Angaben erläutert.

3.2.1 Server, Cluster und Storage

Bis auf zwei Rechenzentren konnte der Output der USV-Anlage durch Herrn Stutz, RZ-Manager der ETH, über ein Webinterface abgelesen werden. Obwohl es sich um momentane Angaben handelt, sind keine besseren Werte verfügbar. Befindet sich in einem Raum keine USV, wurde 250W pro Server angenommen. Grundlage dafür war, dass 2007 der Grossteil der Server in Europa durchschnittlich 200W benötigten [30]. Der erhöhte Wert trägt der steigenden Nachfrage nach Rechenleistung und dem damit verbundenen höheren Energiebedarf Rechnung. Zudem haben die Informatik Support Leiter in den Interviews mehrheitlich angegeben, dass sie einen Wert zwischen 200W und 300W für einen einzelnen Server als realistisch erachten (vgl. Anhang 5.1, Frage 11). In einer Räumlichkeit mit mehreren Servern wurden die 250W entsprechend mit der Anzahl multipliziert, wobei diese aus den Besichtigungen und den telefonischen Rücksprachen hervorging.

3.2.2 Kommunikation

In Zusammenarbeit mit der Abteilung Kommunikation konnte der Stromverbrauch für jeden Switch, respektive jeden Router, welcher sich in einem Serverraum befindet, bestimmt werden. Die Summe entspricht dem Kommunikationswert einer Räumlichkeit.

3.2.3 Kälteerzeugung

Um eine Überhitzung des Raumes zu verhindern, muss die Kälteleistung mindestens gleich gross sein wie die von den IT-Geräten abgegebene Wärme. Diese entspricht dem Stromeingang in IT-Geräte und Hilfskomponenten. Da nur die gesamten Kälteanlagen gemessen werden, muss der Strombedarf der Kälteerzeugung über den COP ermittelt werden. Dieser wird an der ETH Zürich

jährlich ermittelt, wodurch auf die aktuellen Daten von 2009 zurückgegriffen werden konnte. In den Fällen, in welchen die aktuellen COP Werte fehlten, wurden entweder Angaben aus früheren Jahren verwendet, oder von der Leistungsziffer 0.4 abgezogen. Dies entspricht an der ETH Zürich dem mittleren Unterschied zwischen COP und Leistungsziffer.

Die Berechnung des Strombedarfes zur Kälteproduktion erfolgt demnach folgendermassen: Strominput in IT-Geräte und Hilfskomponenten geteilt durch COP.

3.2.4 Lüftung und Befeuchtung

Da auch bei Lüftung und Befeuchtung keine Messwerte existieren, wurde auf die Herstellerspezifikationen zurückgegriffen. Diese waren über die Abteilung Betrieb zugänglich.

3.2.5 USV

In der Datenbank „siloweb“ werden die Energie- und Medienmesswerte der ETH Zürich erfasst, so auch der Elektroverbrauch der Kälte für die USV-Anlage des RZ HIT D13. Eine Rückrechnung über den COP (umgekehrte Rechnung der Kälteerzeugung) ermöglichte die Ermittlung der abgegebenen Wärme, welche dem Stromverbrauch der USV entspricht. Da für die übrigen Räume keine Messungen existieren, wurde derselbe prozentuale Wert für alle Räume angenommen.

3.2.6 Beleuchtung

Gemäss der Abteilung Bauten der ETH Zürich ist eine Annahme von 10W/m^2 sinnvoll. Dieser Wert wurde mit der entsprechenden Raumgrösse multipliziert.

3.2.7 Verluste

Da Leitungs- Übertragungs- und Verteilungsverluste nicht gemessen werden, wurde ein vom „Lawrence Berkeley National Laboratory“ ermittelter Durchschnitt von 10% eingesetzt [37].

3.3 Energiemessungen

3.3.1 Mittlere Serverräume

Stellvertretend für die mittleren Serverräume wurde der Stromverbrauch des ML F52 vom 02.09.2010 bis am 10.09.2010 gemessen. Leider war eine Messung aller Komponenten nicht möglich, weshalb die totale IT-Leistung abgeschätzt werden musste. Für eine der beiden Versorgungen auf das einzige Rack wurde 1kW gemessen. Für die zusätzlichen Geräte wurden drei aktive Server zu je 250W angenommen. Das ergibt eine totale IT-Leistung von 2x1kW plus 0.75kW, also 2.75kW. Die Kühlung ist im Gegensatz zu den Rechenzentren am Laborkühlwassernetz und nicht am Kältenetz angehängt, wobei die Kälteerzeugung im Unterschied zu den Rechenzentren nicht in einer zentralen Anlage, sondern vor Ort stattfindet. Eine Unterteilung in Kälteerzeugung sowie Lüftung und Befeuchtung war demnach nicht möglich. Für die Kühlung wurde gesamthaft 1.68kW gemessen (vgl. Anhang 2.2).

3.3.2 Rechenzentren

Nachdem in einem ersten Schritt sämtliche Daten ohne Messungen ermittelt wurden, wurden einerseits ein für die ETH Zürich typischer, heterogener Serverraum (CAB D56) sowie der bezüglich Energie effizienteste Raum (CAB D53) gemessen. Die Messungen dienten der Plausibilitäts-

prüfung der Annahmen und wurden während je einer Woche (09.-17.08.2010 respektive 18.-25.08.2010) durchgeführt. Eine genaue Aufstellung von Messpunkten und -resultaten ist im Anhang 2.3 zu finden. Dabei konnte der Anteil der Kälte nicht gemessen werden, da die Kälteanlage mehrere Gebäude versorgt und eine Durchflussmessung der Zuleitung zum Serverraum nicht möglich war. Die Annahmen für die restlichen ca. 80% (ohne Kälteanteil) stimmen grundsätzlich gut mit den Messungen überein. Ausser bei den übrigen Verlusten beträgt der prozentuale Unterschied nicht mehr als 4%, wobei dieser auch dort nur 6% beträgt (vgl. Abbildung 4). Die gute Übereinstimmung ist auch beim Vergleich des PUE ersichtlich: Basierend auf den Annahmen wurde für das CAB D56 ein PUE von 1.94 ermittelt, der gemessene PUE liegt bei 1.82. Der Unterschied beträgt somit lediglich 6%. Bezüglich totalem Stromverbrauch war die angenommene Leistung von 124kW jedoch etwas zu hoch im Vergleich zu den gemessenen 107kW. Diese Differenz von 14% lässt sich hauptsächlich mit den zu hohen Annahmen der übrigen Verluste begründen. Beim CAB D53 stimmten die Annahmen noch genauer mit den Messungen überein: Die prozentuale Aufteilung hat eine maximale Abweichung von 5%, der Gesamtverbrauch liegt knapp 10% unter der Annahme und der PUE konnte bis auf 3% genau bestimmt werden.

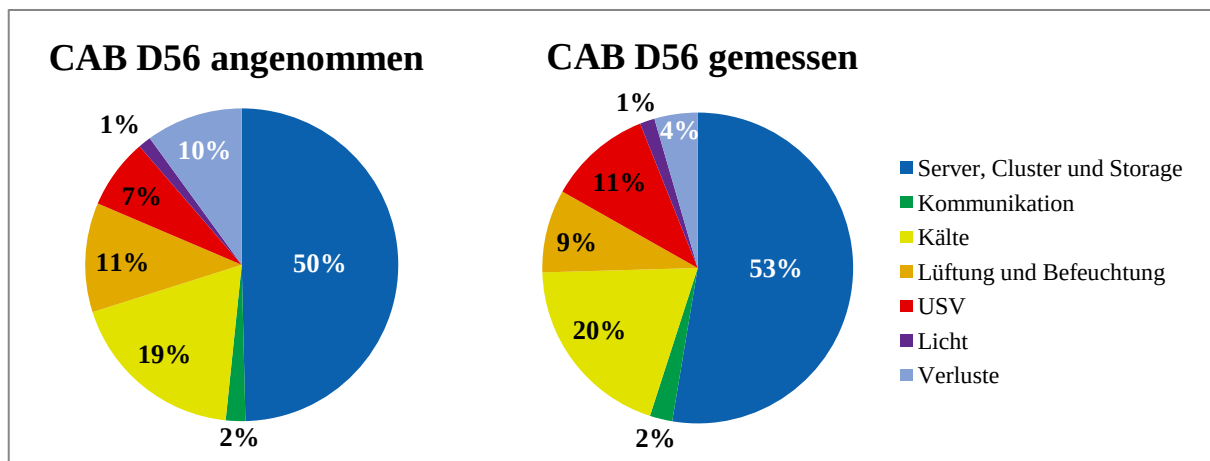


Abbildung 4: Vergleich Annahmen und Messungen für das Rechenzentrum CAB D56

Aufgrund der Messungen wurden die Annahmen für die nicht gemessenen Räume entsprechend korrigiert: Für Lüftung und Befeuchtung wurde nur 70% der Nennleistung der Herstellerspezifikationen angenommen (Verhältnis Messung zu Annahme), die USV wurde auf 11% (gemäss Messung) und die übrigen Verluste auf 4% (gemäss Differenzrechnung) korrigiert.

3.4 Betriebssicherheit

Wird ein Serverraum bezüglich Verfügbarkeit beurteilt, so müssen die Kriterien Versorgungspfad, Redundanz, Wartung, USV und Kühlung berücksichtigt werden. Eine Einteilung der Serverräume bezüglich der ersten drei Kriterien ist in der Rechenzentren-Strategie ETHZ der ID zu finden. Die existierende Einteilung wurde übernommen und zur Kontrolle mit Herrn Stutz, RZ-Manager der ETH Zürich, besprochen. Ebenso konnte er über die physische Sicherheit Auskunft geben. USV und Kühlung sind Kriterien zur Klassifizierung eines Serverraumes, womit klar ist, ob eine Raumklasse über diese Komponenten verfügt oder nicht.

3.5 Kostenberechnung

Im folgenden Kapitel wird die Ermittlung der Kosten beleuchtet. Dabei basieren die Zahlen auf Erfahrungswerten vergangener Jahre, womit die Teuerung nicht berücksichtigt ist.

3.5.1 Amortisation Rauminfrastruktur

Die Erfassung der Kosten basiert auf vorhandenen Abrechnungen und bei nicht ausreichender Detaillierung auf einer sinnvollen Abschätzung der Architekten der Abteilung Bauten. Die Abschreibung erfolgt linear über 15 Jahre, was gemäss der Abteilung Bauten an der ETH Zürich eine sinnvolle Annahme ist. Gewisse Teile der Rauminfrastruktur können bedeutend länger betrieben werden, während vor allem vernetzte Komponenten wie die Gebäudeautomation normalerweise schon früher ersetzt werden müssen.

3.5.2 Amortisation IT-Hardware

Für die Berechnung der Investitionskosten der IT-Hardware wurden 16 Interviews mit den Informatik Support Leitern aller Departemente geführt. Ihre Angaben wurden entsprechend der Belegungspläne von Herrn Stutz, RZ-Manager der ETH Zürich, gewichtet und linear über fünf Jahre abgeschrieben. Gemäss den Angaben aus den Interviews ist dies eine sinnvolle Annahme und entspricht der mittleren Lebensdauer eines Servers über alle Departemente (vgl. Anhang 5.1, Frage 23).

3.5.3 Personal: Technik und Betrieb

Für die Rechenzentren ist an der ETH Zürich eine Person verantwortlich. Bei 7'111 Vollzeitäquivalenten und einer Lohnsumme von 764.8 Mio CHF ergibt sich ein Durchschnittslohn von rund 107'500 CHF [38]. Dieser wurde entsprechend der Raumgrössen anteilmässig auf alle RZ verteilt.

3.5.4 Management Overhead

Basierend auf den Angaben aus den Interviews wurden eher grosszügige 5% des ETH-Durchschnittslohnes eingesetzt und auf die betreute Fläche verteilt (vgl. Anhang 5.1, Frage 20).

3.5.5 Serviceverträge

Die Kosten für die Serviceverträge basieren ebenfalls auf den Angaben aus den Interviews mit den ISLs und wurden entsprechend der Belegung des Serverraumes gewichtet.

3.5.6 Energie

Die ETH Zürich zählt zu den Grossabnehmern des EWZ, wodurch 2009 die durchschnittlichen Energiekosten gering waren. Gemäss Herrn Lodi von der Abteilung Betrieb betrugen sie 2009 9.8 Rappen pro Kilowattstunde. Da in diesem Preis aber temporäre Vergünstigungen enthalten sind, wurden für die Berechnung 11.3 Rappen verwendet, um dieselbe Grundlage wie in vergangenen Jahren zu haben. Gemäss Herrn Ansermet von den Industriellen Werken Basel betrug der mittlere Preis in Basel 18.6 Rappen für das erste Halbjahr 2010. Für das geplante Supercomputing Center in Lugano wird mit einem Durchschnittswert von 18 Rappen für die Jahre 2012 bis 2016 gerechnet [39].

3.5.7 Instandhaltung, Instandsetzung und Reinigung und Hauswartung

In Zusammenarbeit mit Herrn Lodi von der Abteilung Betrieb wurde für diese drei Kostenfaktoren ein Quadratmeterpreis ermittelt und entsprechend der Raumfläche hochgerechnet. Als Basis diente das RZ-Gebäude, da dort die Serverräume verhältnismässig viel Fläche belegen.

3.5.8 Sicherheit

Gemäss dem Stab Sicherheit, Gesundheit und Umwelt wurden für Büroserver und mittlere Serverräume jährliche Kosten von 300 CHF und für Rechenzentren 600 CHF eingesetzt.

3.5.9 Flächenpreis

Das Portfoliomanagement des Infrastrukturbereichs Immobilien der ETH Zürich rechnet mit 350 CHF/m² für ein Büro und bei einem Lagerraum mit 175 CHF/m². In Basel liegt der Mietpreis eines Quadratmeters des Serverraumes bei 100 CHF. Alternativ liesse sich dieser Raum nur als Lager benutzen.

3.6 Optimierungsansätze

Basis für die Optimierungsansätze bildeten einerseits eine intensive Literaturrecherche von Erfahrungsberichten und „Best practice“-Beispielen und andererseits neun Besprechungen mit Experten auf dem Gebiet Rechenzentrum. So wurden neben den Interviews mit den ISLs aller Departemente auch Besprechungen mit Frau Ladina Gilly, Associate Director Business Services CSCS, Herr Heinz Ursprung, Direktor ICT am Unispital Zürich, Herr Bernard Aebischer vom Center for Energy Policy and Economics (CEPE), Herr Alexander Godknecht, Head IT-Infrastructure Universität Zürich, Lorenz Wolf, Microsoft Solution Specialist Datacenter, Herr Jürgen Winkelmann, Herr Hans Hiltbrunner und Herr Immo Noack von den Informatikdiensten der ETH Zürich, Hans Hirter, ISL am Departement Umweltwissenschaften mit Erfahrung im Bereich Konsolidierung und Virtualisierung, sowie Herr Patrick Eggeler Abteilungsleiter RZ Neubauten und Betrieb der Stadt Zürich geführt.

4 Präsentation der Resultate

4.1 Klassifizierung

Tabelle 1 gibt anhand der fünf Einteilungskriterien einen Überblick über die fünf Hauptkategorien an der ETH Zürich. Die Hauptkategorien Rechenzentrum und Kommunikationsraum können jeweils noch weiter unterteilt werden, was total sieben Klassen ergibt.

Tabelle 1: Klassifizierung der Serverräume an der ETH Zürich⁵

	Hochleistungs-Rechenzentrum	Rechenzentrum		Mittlerer Serverraum	Büroserver	Kommunikationsraum	
Kriterien	Hochleistungs-Rechenzentrum	Rechenzentrum zentral	Rechenzentrum dezentral	Mittlerer Serverraum	Büroserver	Hauptkommunikationsraum	Kleiner Kommunikationsraum
# physischer Server	> 40	> 40		≤ 40 und > 3	≤ 3	≤ 3	0
Switches / Router	ja	ja		nein	nein	ja	
Kühlung	Wasserkühlung direkt am Rack	Kühlung über Doppelboden / Wasserkühlung am Rack		in der Regel Umluftkühlgerät	keine Kühlung	Kühlung über Doppelboden	keine Kühlung
USV	ja	ja		teilweise	nein	ja	nein
Nutzung	ETH-weit & externe Firmen	ETH-weit	Departemente	Departemente	Departemente	ETH-weit	

4.1.1 Hochleistungs-Rechenzentrum

Das Hochleistungs-Rechenzentrum der ETH Zürich CSCS (Swiss National Supercomputing Center) steht in Manno im Tessin, wird jedoch 2012 durch den Neubau LCA in Lugano-Cornaredo ersetzt. Typisches Merkmal ist neben der grossen Anzahl von Servern die hohe Energiedichte, was sich an der Art der Kühlung zeigt: Im Neubau wird nicht der gesamte Raum gekühlt, sondern nur noch die Racks, die Wärme wird also direkt dort abgeführt, wo sie entsteht. Ein weiteres entscheidendes Merkmal ist, dass die Rechenleistung auch von externen Firmen genutzt wird. In Manno und ab 2012 auch in Lugano-Cornaredo ist Meteo Schweiz eingemietet.



Abbildung 5: Serverracks am CSCS in Manno

⁵ Tabelle 16 im Anhang 4.1 zeigt die Einteilung der Serverräume in die Raumklassen.

4.1.2 Zentrales Rechenzentrum

Die zentralen Rechenzentren der ETH Zürich haben eine vergleichbare Rauminfrastruktur wie das Hochleistungs-RZ. Ein Unterschied liegt in der niedrigeren Energiedichte, was die Luftkühlung über den Doppelboden deutlich macht. In den Rechenzentren RZY B65 und HIT D13 sind neben luft- auch wassergekühlte Racks zu finden, was aber nicht der Normalfall ist. Der zweite Unterschied bezieht sich auf die Nutzung: Zentrale Rechenzentren werden ausschliesslich von der ETH Zürich genutzt und nicht von externen Firmen, kommen jedoch immer ETH-weit zum Einsatz.

4.1.3 Dezentrales Rechenzentrum

Die dezentralen unterscheiden sich von den zentralen Rechenzentren nur bezüglich Nutzung. Während zentrale RZ auch von den zentralen Informatikdiensten und somit ETH-weit genutzt werden, beschränkt sich die Anwendung der dezentralen RZ auf die Departemente. In der Regel teilen sich mehrere Departemente einen solchen Raum.

4.1.4 Mittlerer Serverraum

Die mittleren Serverräume zeichnen sich dadurch aus, dass sie keine Kommunikationsgeräte und maximal 40 Server enthalten. Es sind in der Regel umfunktionierte Lagerräume mit einem Umluftkühlgerät, wobei die übrige Rauminfrastruktur fehlt. Eine unterbrechungsfreie Stromversorgung haben nur ausgewählte Räume oder Geräte⁶.

4.1.5 Büroserver

Maximal drei Büroserver stehen in einem Arbeitsraum⁷, dessen Nutzung unabhängig vom Server ist. Demzufolge fehlen weitere IT-Geräte und alle Komponenten der Rauminfrastruktur. Wie die mittleren Serverräume wird diese Klasse von einem einzigen Departement genutzt.

4.1.6 Hauptkommunikationsraum

Aufgabe der Hauptkommunikationsräume ist die Verbindung zwischen ETH Zürich und Aussenwelt, sowie der Gebäudebereiche untereinander. Sie werden demnach immer ETH-weit eingesetzt und sind für eine Hochschule von existentieller Bedeutung. Darum haben diese Räume USV und Kühlung. Es sind wohl IT-Räume, nicht aber Serverräume im eigentlichen Sinne, denn sie beinhalten viel Kommunikationsequipment und wenige Server. Gemäss Derk Valenkamp von der Abteilung Kommunikation dienen die Server im RZ D21, HG D69 und im HCI C72 ausschliesslich Kommunikationszwecken. Einzige Ausnahme bildet der Tape-Roboter im HPV E51.2.

4.1.7 Kleiner Kommunikationsraum

Kleine Kommunikationsräume dienen zur Verbindung von Hauptkommunikationsräumen und einzelnen Räumen, respektive deren Computern und Servern. Da sie auch von den zentralen Organen benutzt werden, finden auch sie eine ETH-weite Anwendung. Im Gegensatz zu den Hauptkommunikationsräumen ist ihr Ausfall aber weniger kritisch, weil bedeutend weniger Personen davon betroffen sind. Deshalb weisen diese Räume weder USV noch Kühlung auf.

⁶ Kleine USV-Anlagen gibt es in den Räumen HCI G8, HCI D216, HG J15.2/3, HIL G10.1, NO C011.5, ML F48.2, ML F49.4 und RZ H26.

⁷ Arbeitsräume sind Büros und Labors.

4.2 Energieeffizienz

4.2.1 Energieeffizienz von Rechenzentren

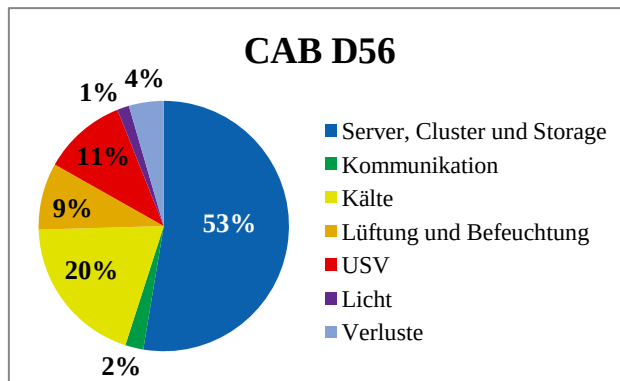


Abbildung 6: Aufteilung des Stromverbrauchs im dezentralen Rechenzentrum CAB D56

Abbildung 6 zeigt die Verteilung des Stromverbrauchs aller Komponenten im dezentralen Rechenzentrum CAB D56. Nur etwas mehr als die Hälfte (55%) der total knapp 107kW fließt effektiv in die IT-Komponenten Server, Cluster und Storage (53%) sowie Kommunikation (2%). Dies entspricht einem DCIE von 0.55 oder einem PUE von 1.82. Die Kühlung macht mit einem Anteil von 29% (20%+9%) den Grossteil der Hilfskomponenten und Verluste aus, wobei davon gut $\frac{2}{3}$ zu Lasten der Kälteerzeugung gehen. Lüftung und Befeuchtung benötigen etwas weniger Strom als die USV.

Während das CAB D56 mit einem PUE von 1.82 unter dem für die Rechenzentren an der ETH Zürich ermittelten Durchschnitt von 1.94 liegt, ist das CLA C5 mit einem Wert von 2.15 (DCIE = 0.47) deutlich darüber. Die totale Leistung beträgt knapp 189kW. Der Unterschied ist vorwiegend auf die Kühlung zurückzuführen, wobei die Kälteerzeugung wiederum gut doppelt so viel Strom benötigt wie Lüftung und Befeuchtung (vgl. Abbildung 7). Dass die Kälteerzeugung 6% mehr ausmacht als beim CAB D56 liegt daran, dass die beiden RZ nicht an dieselbe Kälteanlage angeschlossen sind und diejenige, welche das CLA C5 versorgt einen schlechteren COP aufweist als diejenige des CAB D56 (COP von 2.6 gegenüber 3.8).

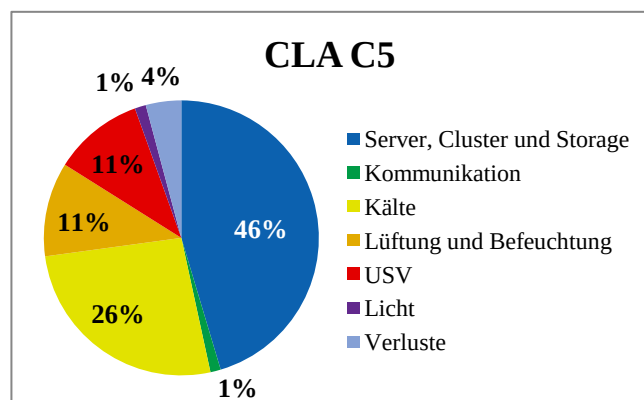


Abbildung 7: Aufteilung des Stromverbrauchs im zentralen Rechenzentrum CLA C5

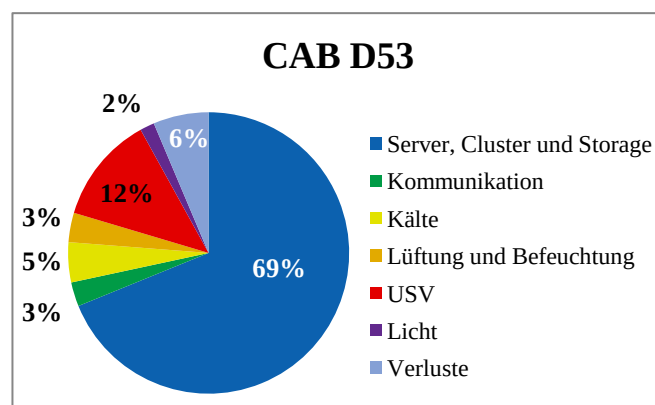


Abbildung 8: Aufteilung des Stromverbrauchs im dezentralen Rechenzentrum CAB D53

Das effizienteste Rechenzentrum an der ETH Zürich ist das CAB D53 mit einem PUE von 1.40 (DCIE von 0.72) bei einer Totalleistung von gut 75kW. Grund dafür ist die sogenannte Einhausung der Server-racks. Dabei stehen sich jeweils die Fronten oder die Rückseiten zweier Reihen Racks gegenüber. Dieses Prinzip wird Kalt-/Warmgangtrennung genannt und verhindert, dass die Racks im warmen Abluftstrom des vorderen Racks steht. Mit dieser Anordnung kann bereits viel Ener-

gie gespart werden, dennoch besteht das Problem, dass insbesondere im oberen Teil, am Anfang und am Ende der Rackreihen Luftdurchmischungen von kalter und warmer Luft auftreten (vgl. Abbildung 9). Als Konsequenz muss noch mehr kalte Luft eingeblasen werden, um auch diese Randregionen mit genügend Kälte zu versorgen. Der erhöhte Luftbedarf macht eine höhere Ventilatorenleistung und dadurch einen höheren Strombedarf nötig. Die Einhausung löst diese Problematik durch die physische Trennung von Kalt- und

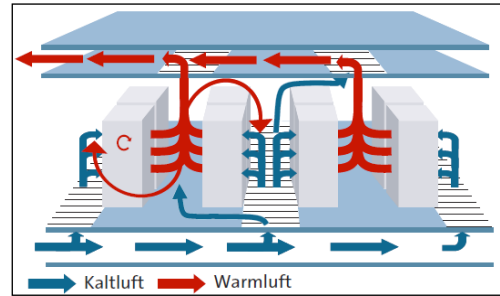


Abbildung 9: Prinzip der Kalt- / Warmgangtrennung, Quelle: BITKOM [40]

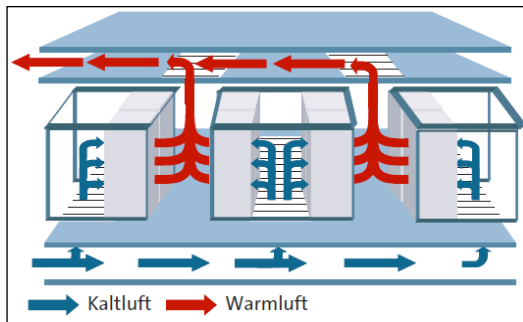


Abbildung 10: Einhausung von Serverracks, Quelle: BITKOM [40]

Warmluftbereich, womit eine Luftdurchmischung verhindert wird (vgl. Abbildung 10) [40]. Abbildung 8 macht deutlich, dass dies beim CAB D53 erreicht wurde: Der Anteil von Lüftung und Befeuchtung ist mit 3% dreimal kleiner als beim CAB D56 und beträgt nur wenig mehr als ein Viertel des Anteils beim CLA C5. Ausserdem sind die Kaltwasserventile nur zu etwa 20% geöffnet, was den Kälteanteil auf 5% sinken lässt. Dem steht ein Anteil von 20% beim CAB D56 gegenüber, beim CLA C5 sind es gar 26%.

4.2.2 Energieeffizienz von mittleren Serverräumen

Abbildung 11 zeigt, dass beim mittleren Serverraum ML F52 der Anteil der IT mit 58% ähnlich

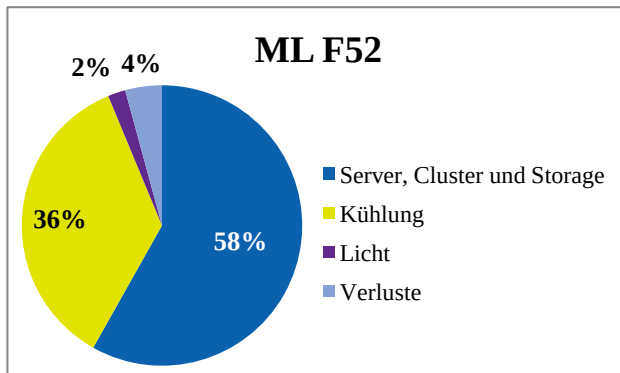


Abbildung 11: Aufteilung des Stromverbrauchs beim mittleren Serverraum ML F52

gross ist wie bei den Rechenzentren. Dies entspricht einem PUE von 1.72 oder einem DCIE von 0.58. Die Energieeffizienz (PUE) ist somit nur geringfügig besser als der für die Rechenzentren ermittelte Durchschnitt von 1.94. Von den total 4.7kW entfallen 36% auf die Kühlung. Dieser Anteil liegt in derselben Grössenordnung wie bei den Rechenzentren, obwohl diese Räume in der Regel keine USV haben. Für die Verluste wurden ebenfalls 4% angenommen.

4.2.3 Energieeffizienz von Büroservern

Bei den Büroservern ist die Situation sehr einfach: Ausser dem Server selbst existieren keine Hilfskomponenten, welche Strom verbrauchen. Ausserdem gelangt der Strom direkt an den Server, wodurch Übertragungs-, Leitungs- und Verteilungsverluste entfallen. Der PUE liegt somit beim bestmöglichen Wert von 1.0. Dies hat allerdings Einbussen bei der Betriebssicherheit zur Folge, wie im kommenden Kapitel gezeigt wird.

4.3 Betriebssicherheit

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die fünf Levels der Betriebssicherheit und die Einteilung der Raumklassen in diese Levels.

Tabelle 2: Betriebssicherheits-Levels und Einteilung der Raumklassen

	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Versorgungspfad	1 aktiver	1 aktiver	1 aktiver	1 aktiver 1 passiver	2 aktive
Redundanz (Kühlung)	keine (N)	keine (N)	redundante Komponenten (N+1)	redundante Komponenten (N+1)	redundante Komponenten 2(N+1)
Kühlung	nein	ja	ja	ja	ja
USV	nein	möglich	ja	ja	ja
Wartung	erfordert Ab- schalten	erfordert Ab- schalten	erfordert Ab- schalten, wenn Wartung am Versorgungspfad	während Be- trieb möglich	während Be- trieb möglich
Zutrittskontrolle	nein	nein	ja	ja	ja
Einteilung der Raumklassen	Büroserver	mittlere Server- räume	zentrale RZ & dezentrale RZ	RZY B65 & HIT D13	

Gemäss Raumklassifizierung haben Büroserver weder Kühlung noch USV und mittlere Serverräume verfügen über ersteres, jedoch in der Regel nicht über letzteres. Demnach können diese Räumlichkeiten dem Level 0, respektive dem Level 1 zugeordnet werden. Zentrale und dezentrale Rechenzentren verfügen über diese Komponenten und zusätzlich ist eine Redundanz bei der Kühlung vorhanden, womit sie zum Level 2 gehören. Einzig die Rechenzentren RZY B65 und HIT D13 weisen höhere Sicherheiten bezüglich Kühlung (Kühlanlagen sind an der USV angeschlossen) und Versorgung (getrennte Versorgungspfade ab USV und öffentlichem Netz) auf. Dementsprechend zählen sie zu Level 3.

Das Hochleistungs-RZ lässt sich nur schwer in ein Level einteilen, da es Charakteristiken mehrerer Levels aufweist. Gemäss den Angaben von Frau Gilly hat das bestehende CSCS in Manno viele Eigenschaften von Level 2, verfügt aber grundsätzlich über eine Redundanz von N, also keine zusätzlichen Anlagen. Andererseits hat der Raum 2 aktive Versorgungspfade. Der Neubau wird über einen redundanten Versorgungspfad verfügen, jedoch ab demselben Unterwerk und Wartungen sind prinzipiell während dem Betrieb möglich. Demnach zählt das Hochleistungs-RZ am ehesten zur Stufe des RZY B65 und des HIT D13, also zum Level 3.

4.4 Kostenstruktur

4.4.1 Kostenstruktur Hochleistungs-Rechenzentrum

In Abbildung 12 ist die geplante Kostenstruktur vom Neubau des CSCS in Lugano-Cornaredo ab 2012 zu sehen. Im ersten Jahr ist eine elektrische Gesamtleistung von 3.5MW vorgesehen mit einer Erhöhung auf 7.5MW bis 2016. Das ergibt einen Mittelwert von 5.25MW für die ersten fünf Jahre [39]. Dieser Wert ist jedoch als Planzahl zu verstehen und kann, wie die gesamte Kostenstruktur, bis zur Fertigstellung noch deutlich davon abweichen. Der Grundausbau ermöglicht eine

maximale Gesamtleistung von 9.6MW für das CSCS und 1.9MW für den knapp 500m² grossen Maschinenraum des ETH Clusters, welcher im selben Gebäude untergebracht wird.

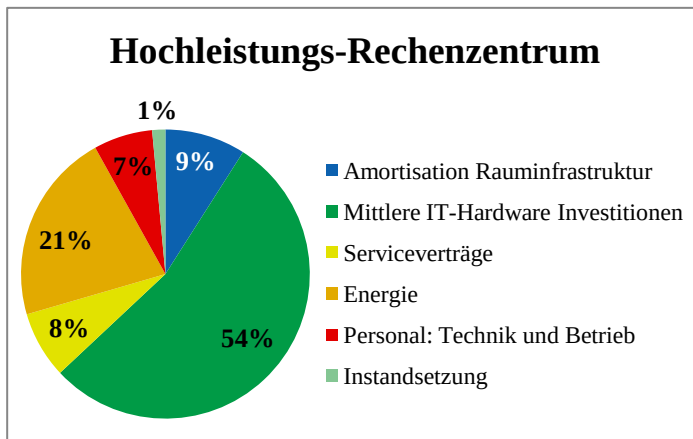


Abbildung 12: Geplante Kostenstruktur des Hochleistungs-RZ in Lugano-Cornaredo

Die mittleren IT-Hardware Investitionen machen rund die Hälfte der jährlichen Gesamtkosten von knapp 40 Mio. CHF aus. Zweiter grosser Kostenfaktor ist die Energie mit 21%, während der drittgrösste Faktor, die Amortisation der Rauminfrastruktur, mit 9% bedeutend weniger ins Gewicht fällt. Dies liegt unter anderem daran, dass die Dauer der Abschreibung bei der Rauminfrastruktur mit 15 Jahren deutlich länger ist als beim IT-Equipment (3 Jahre bei High Performance Computing). Die Betriebskosten machen

knapp 40% aus, während sich die Investitionskosten auf rund 60% belaufen.

4.4.2 Kostenstruktur Rechenzentrum

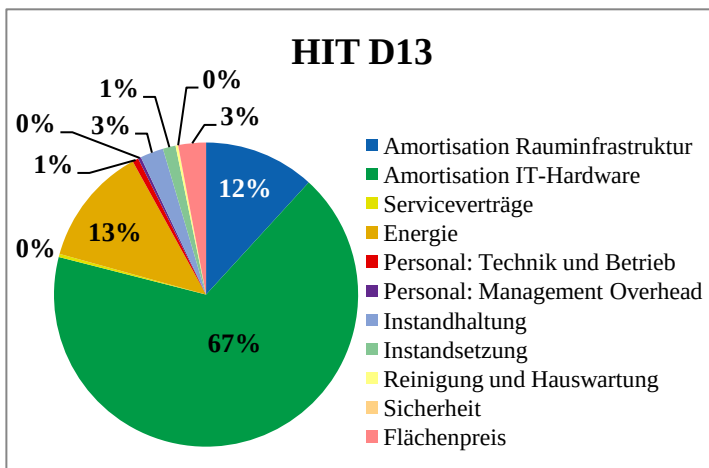


Abbildung 13: Kostenstruktur des zentralen RZ HIT D13

Abbildung 13 resp. 14 zeigen, dass sich die Kostenstrukturen der untersuchten zentralen (HIT D13) und dezentralen Rechenzentren (CAB D56) nicht wesentlich unterscheiden. Die Amortisation der IT-Hardware entspricht den mittleren IT-Hardware Investitionen beim Hochleistungs-RZ. Auch bei den untersuchten RZ an der ETH Zürich machen sie klar den grössten Teil der jährlichen Kosten aus (1.7 Mio. CHF beim HIT D13, resp. 1.08 Mio. CHF beim CAB

D56). Dass dieser Prozentsatz höher ist als beim Hochleistungs-RZ liegt unter anderem daran, dass die Auslastung der Server bei den Rechenzentren an der ETH Zürich wesentlich schlechter ist als beim Supercomputing Center. Dies hat zur Folge, dass verhältnismässig viele Geräte die IT-Dienstleistung erbringen müssen und somit höhere Amortisationskosten nach sich ziehen. Bei den zentralen, wie auch bei den dezentralen Rechenzentren, konnten die Servicekosten nicht immer von den IT-Hardwarekosten

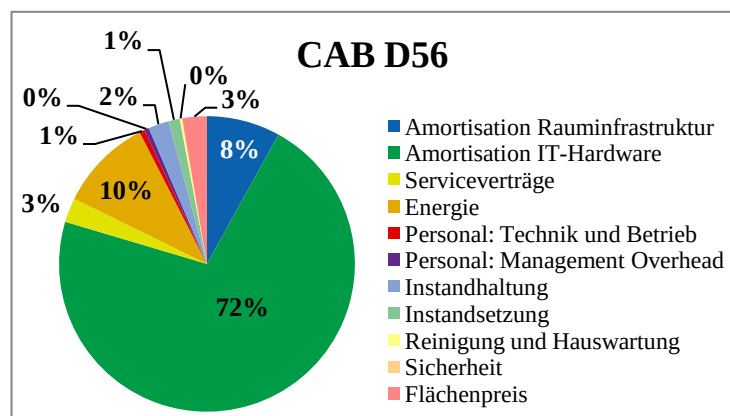


Abbildung 14: Kostenstruktur des dezentralen RZ CAB D56

getrennt werden, weil bei Neubeschaffungen normalerweise drei Jahre Garantie im Kaufpreis enthalten sind. Diese werden jedoch nicht separat ausgewiesen. Serviceverträge wurden demnach nur als solche deklariert, wenn sie klar von den Hardwarekosten getrennt werden konnten. Werden die Serviceverträge beim Hochleistungs-RZ zu den IT-Kosten addiert, so ergibt das 62%, beim HIT D13 67% und beim CAB D56 75% der Gesamtkosten. Dieser Quervergleich macht deutlich, dass die Kosten in derselben Grössenordnung liegen und durchaus plausibel sind. Nach den IT-Kosten folgen jeweils die Energiekosten mit einem Anteil zwischen 10% und 15% an zweiter Stelle. Der höhere Anteil beim Hochleistungs-RZ erklärt sich in erster Linie durch den höheren Strompreis. Knapp hinter den Energiekosten folgen die Amortisationskosten für die Rauminfrastruktur mit einem Anteil um 10%, während die übrigen Kostenfaktoren verhältnismässig gering sind.

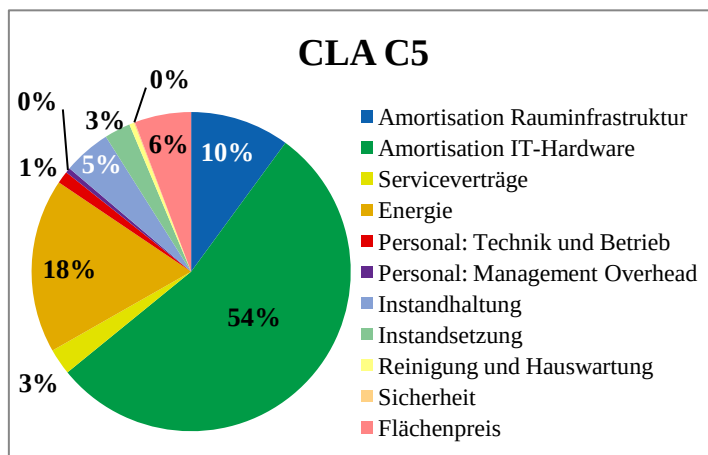


Abbildung 15: Kostenstruktur des zentralen RZ CLA C5

Das zentrale RZ CLA C5 hat eine ähnliche Kostenstruktur wie die beschriebenen Rechenzentren, wobei die Amortisation der IT-Hardware deutlich weniger ausmacht (vgl. Abbildung 15). Dies liegt vorwiegend an den niedrigeren Serverkosten im CLA C5, wodurch die übrigen Kostenfaktoren etwas mehr ins Gewicht fallen. Die jährlichen Kosten belaufen sich total auf knapp 1.06 Mio. CHF, wovon 18% auf die Energie entfallen. Der hohe Wert ist auf die schlechte

Energieeffizienz zurückzuführen (PUE von 2.15 gegenüber dem Mittel von 1.94 der ETH RZ).

Aufgrund der geographischen Eigenständigkeit ist der Betrieb des Rechenzentrums des Departementes BSSE in Basel relativ autonom. Bereits vor dieser Arbeit wurde versucht, die Kosten im Sinne einer Vollkostenrechnung möglichst transparent aufzuzeigen. Abbildung 16 lässt erkennen, dass das BSA C249 in Basel eine mit den übrigen RZ vergleichbare Struktur aufweist. Die Kosten liegen mit knapp 0.6 Mio. CHF pro Jahr jedoch deutlich unter den bisher untersuchten Räumlichkeiten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Raum in Basel kleiner ist und bedeutend weniger IT-Leistung aufweist. Der markante Unterschied liegt im Personalkostenanteil von 12%. Dies lässt sich dadurch erklären, dass in Basel nicht von der zentralen Infrastruktur der ETH Zürich profitiert werden kann und somit verhältnismässig viel Personalaufwand betrieben werden muss.

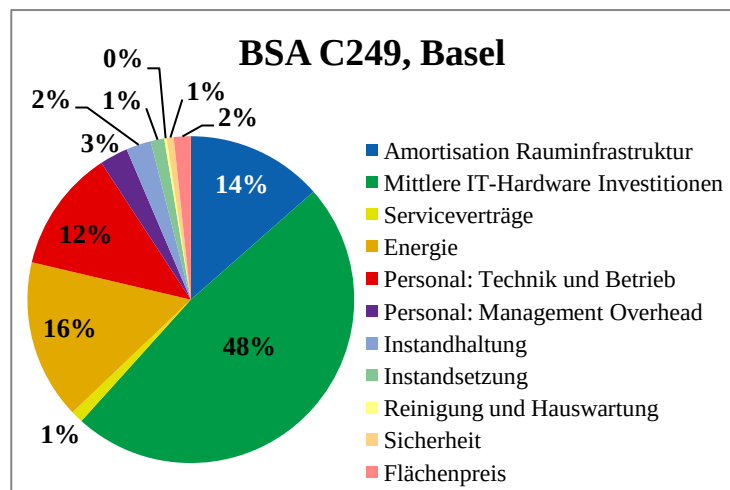


Abbildung 16: Kostenstruktur des dezentralen RZ BSA C249

Hinzu kommt, dass die Personalkosten in Basel klar ausgewiesen werden, während sie in Zürich oft nicht den effektiven Kostenträgern zugeordnet werden können. Ursache dieser Problematik ist, dass ein Teil der Arbeit von Doktorandinnen, resp. Doktoranden, und Mitarbeiterinnen, resp. Mitarbeitern, der Professuren erledigt wird. Die Personalkosten erscheinen somit nur unter Forschung und Lehre, nicht aber bei der IT. Konsequenterweise müsste jedoch eine entsprechende Aufteilung gemacht werden. Die etwas höheren Amortisationskosten der Rauminfrastruktur liegen an der um fünf Jahre kürzeren Abschreibedauer in Basel, da nach zehn Jahren der Umzug in ein neues Gebäude bevorsteht.

4.4.3 Kostenstruktur mittlerer Serverraum

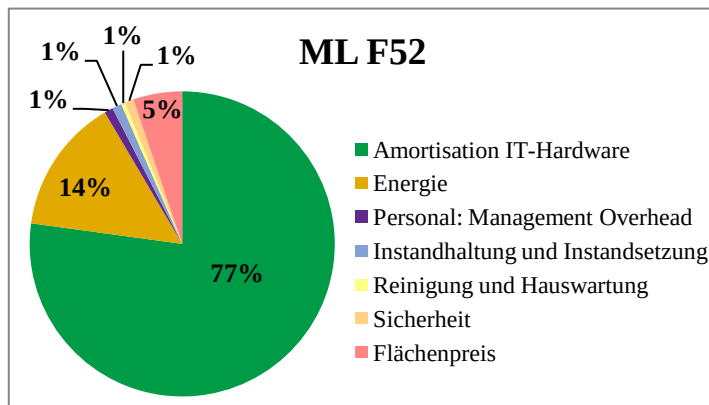


Abbildung 17: Kostenstruktur mittlerer Serverraum ML F52

Die Kostenstruktur des mittleren Serverraums ML F52 hat bedeutend weniger Komponenten als diejenige der Rechenzentren, da normalerweise die Rauminfrastruktur bis auf die Kühlung fehlt. Ausserdem existieren für Server in mittleren Serverräumen selten Serviceverträge, die als solche ausgewiesen werden können und der Personalaufwand ist ebenfalls äusserst gering. Dies kann mit der beschriebenen Problematik zusammenhängen, dass Perso-

nen aus Forschung und Lehre diese Server betreiben. Dennoch ist das Grundbild der Kostenverteilung gleich: Grösster Kostenfaktor der jährlich knapp 30'000 CHF ist mit 77% die Amortisation der IT-Hardware gefolgt von den Energiekosten (vgl. Abbildung 17). Aufgrund von grösstenteils fehlenden weiteren Kostenfaktoren ist der Anteil der Energie und des Flächenpreises etwas höher als bei den Rechenzentren.

4.4.4 Kostenstruktur Büroserver

Da sich ein Büroserver in einem Raum befindet, dessen Nutzung unabhängig vom Server ist, entfallen sämtliche Kosten bis auf Beschaffungs-, Strom- und Flächenkosten sowie allfälligen Personalaufwand und Servicevertrag. Die jährlichen Kosten von knapp 1000 CHF verteilen sich zu 62% auf die Amortisation des Servers und zu 25% auf die Energie (vgl. Abbildung 18). Im Vergleich mit den übrigen Raumklassen fällt der Flächenpreis mit 12% stark ins Gewicht, was am doppelt so hohen Quadratmeterpreis eines Arbeitsraumes liegt. Der Trend, dass der Energie- und der Flächenpreisanteil bei wenigen Kostenfaktoren zunimmt, zeigt sich also auch hier.

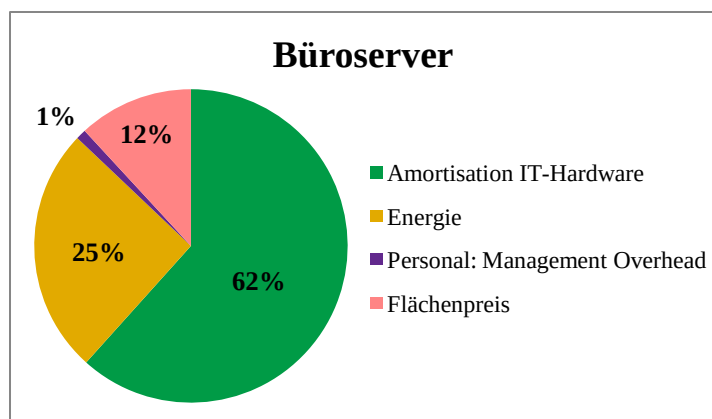


Abbildung 18: Kostenstruktur Büroserver

5 Analyse der Resultate

5.1 Anzahl und Fläche

Im Folgenden werden die Raumkategorien bezüglich Anzahl und Fläche miteinander verglichen. Dabei ist anzumerken, dass die Anzahl der mittleren Serverräume wohl nicht genau stimmt. Aufgrund der Erfahrungen bei der Identifikation der Serverräume ist anzunehmen, dass die Abweichung nicht mehr als fünf bis maximal zehn Räume beträgt. Bei den Büroservern hingegen dürfte die Ungenauigkeit etwas grösser sein.

Die Fläche beinhaltet alle für den Betrieb des Serverraumes notwendigen Räumlichkeiten: Serverraum, USV- und Batterieräume sowie allfällige Räumlichkeiten für Kälteanlagen⁸.

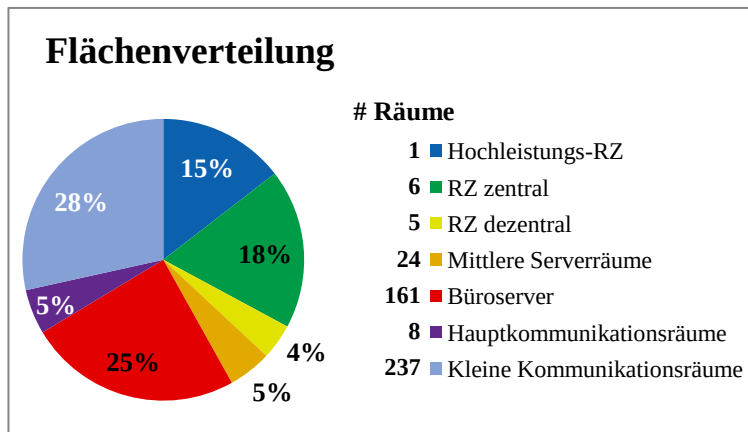


Abbildung 19: Flächenverteilung und Anzahl Räume der Raumklassen

In Abbildung 19 ist zu erkennen, dass Büroserver und kleine Kommunikationsräume aufgrund ihrer grossen Anzahl auch den grössten Flächenanteil ausmachen. Andererseits benötigen Rechenzentren, insbesondere das Hochleistungs-RZ, trotz geringer Anzahl Räume viel Fläche. Mit knapp 2000m² benötigt das CSCS 15% der rund 13'000m². Die sechs zentralen RZ belegen mit einem Mittel von gut 400m² 18% der totalen Fläche. Der niedrige Flächenanteil (4%) der dezentralen RZ ist auf die geringere durchschnittliche Grösse (rund 100m²) zurückzuführen.

5.2 Energieverbrauch und Energieeffizienz

Abbildung 20 zeigt eine Hochrechnung des Energieverbrauchs über die Raumklassen, wobei die Energiedichte [W/m²] eines Referenzraumes mit der Fläche der entsprechenden Klasse multipliziert wurde. Die gesamte elektrische Leistung von rund 4.6MW umfasst auch Hilfskomponenten und Verluste. Dies entspricht einem jährlichen Verbrauch von 40.7GWh, ohne Hochleistungs-RZ sind es 27.4GWh oder rund 25% vom Strombedarf der ETH Zürich. Das CSCS benötigt alleine einen Drittel des Stromes, wobei sich der Anteil mit dem Neubau fast verdoppeln wird. Die Energiekosten belaufen sich ohne CSCS auf rund 3

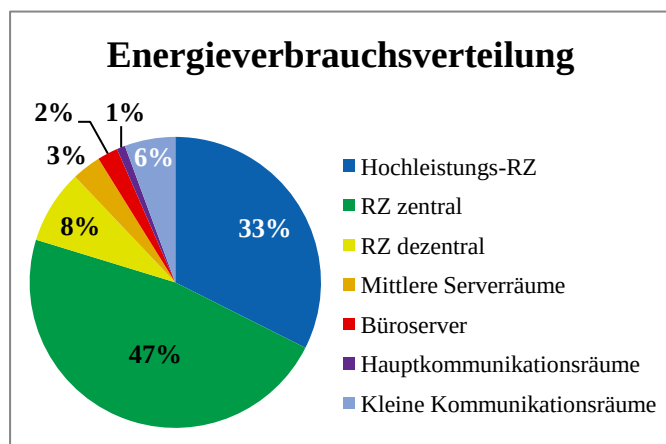


Abbildung 20: Energieverteilung der Raumklassen

⁸ Raumgrössen gemäss persönlicher Kommunikation mit Ladina Gilly, 29.07.2010 (vgl. Anhang 5.3.2) und Portfoliomanagement des Infrastrukturbereichs Immobilien der ETH Zürich, Bürogrösse = 20 m².

Mio. CHF. Obwohl die RZ der ETH Zürich nur 22% (18%+4%) der Fläche belegen, benötigen sie 55% (47%+8%) der Energie, ohne das CSCS sogar 82%. Diese Berechnung deckt sich gut mit den Interviews, in welchen die ISLs angaben, dass sich rund 80% der Server in Rechenzentren befinden (vgl. Anhang 5.1, Frage 7). Kommunikationsräume beziehen nur 7% der Energie (1%+6%), was etwa dem von Cisco ermittelten Bereich von 8 bis 12% entspricht [41].

Ein Vergleich der Raumklassen bezüglich Energiedichte (IT-Leistung pro Serverraumfläche) macht deutlich, dass der Neubau des Hochleistungs-RZ die Energiedichte in den ersten Jahren von heute knapp 1kW/m^2 voraussichtlich auf 2.55kW/m^2 steigern wird. Im Endausbau werden 10kW/m^2 erreicht. Heute ist die Energiedichte des Hochleistungs-RZ gut doppelt so hoch wie diejenige der zentralen (HIT D13 und CLA C5) und dezentralen RZ (CAB D53, CAB D56 und BSA C249). Diese weisen ihrerseits etwas mehr IT-Leistung pro Serverraumfläche auf als der mittlere Serverraum ML F52 (vgl. Abbildung 21). Weil selten mehr als ein Server in einem Arbeitsraum steht, ist die Energiedichte bei Büroservern äusserst gering.

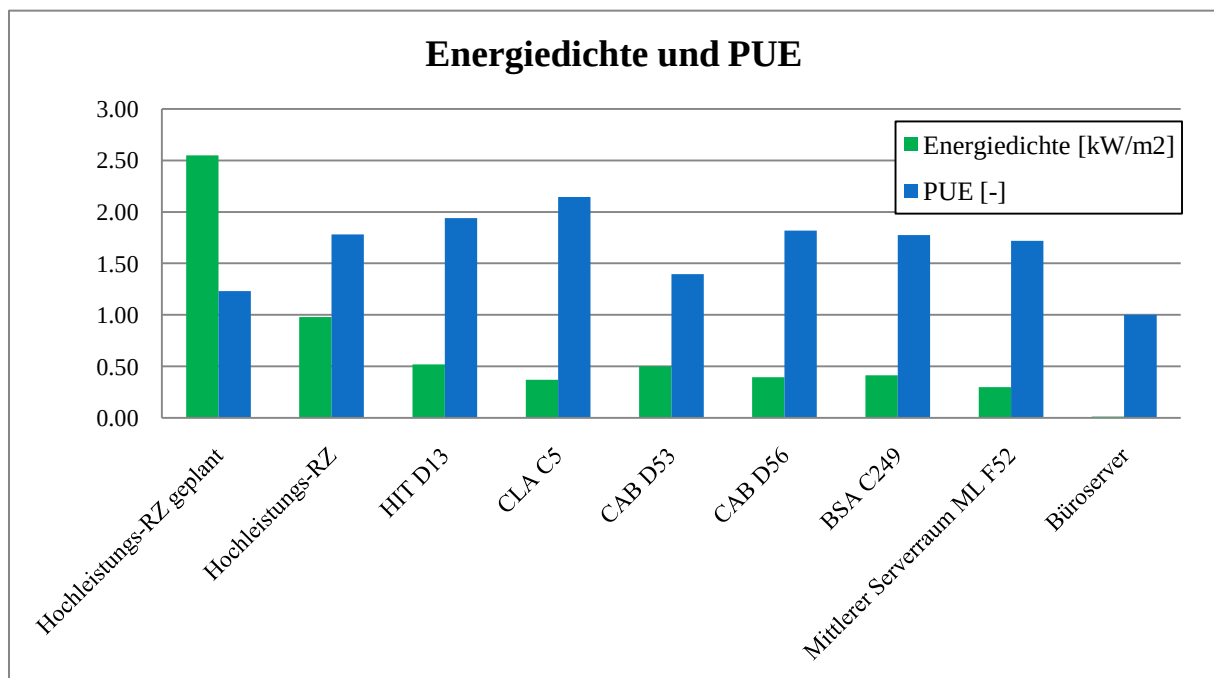


Abbildung 21: Energiedichte und PUE der Raumklassen

Abbildung 21 zeigt zudem die Energieeffizienz (PUE) der Raumklassen, respektive deren Vertretern. Für die Rechenzentren der ETH Zürich wurde ein Durchschnitt von 1.94 ermittelt. Das bestehende Hochleistungs-RZ liegt mit einem Wert von 1.78 deutlich darunter und der Neubau in Lugano-Cornaredo wird mit einem Wert von 1.23 zu den weltbesten gehören. Dass die untersuchten dezentralen RZ einen etwas besseren PUE aufweisen als die zentralen, liegt vor allem an den effizienteren Kälteanlagen. Ein Zusammenhang zwischen Energiedichte und PUE ist nicht erkennbar. Der untersuchte mittlere Serverraum ML F52 liegt mit einem PUE von 1.72 nur wenig unter dem Wert des CAB D56 (1.82), jedoch deutlich über demjenigen des CAB D53 (1.40). Im Vergleich zum Mittelwert der RZ der ETH Zürich (1.94) schneidet das ML F52 aber doch deutlich besser ab. Dies liegt daran, dass in einem mittleren Serverraum die Kühlung die einzige Hilfskomponente ist. Büroservers weisen mit 1.0 einen perfekten PUE-Wert auf, was durch das Fehlen jeglicher Hilfskomponenten erklärt werden kann.

5.3 Kosten

Eine Hochrechnung der Gesamtkosten (vgl. Abbildung 22) basiert auf den ermittelten Quadratmeterkosten der Referenzräume und dem Flächentotal der Klassen. Sie zeigt, dass das geplante

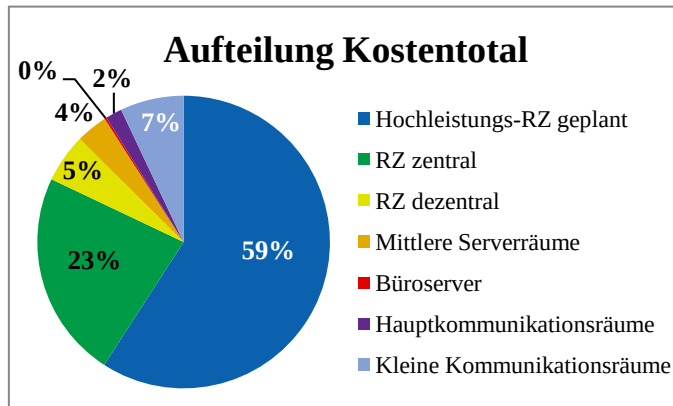


Abbildung 22: Aufteilung der Kosten auf die Raumklassen

Hochleistungs-RZ 59% der jährlichen Kosten von rund 66 Mio. CHF ausmacht und doppelt so viel kostet wie alle RZ der ETH Zürich zusammen (23%+5%). Ohne CSCS belaufen sich die jährlichen Kosten auf gut 27 Mio. CHF. Kommunikationsräume machen nur 9% aus, wobei wegen ihrer grossen Anzahl 7% auf kleine Kommunikationsräume entfallen. Mittlere Serverräume und insbesondere Büroserver sind aus Kostensicht vernachlässigbar.

Abbildung 23 zeigt, dass die Kosten pro Serverraumfläche für die Rechenzentren BSA C249, CAB D56 und HIT D13 maximal 6% auseinander liegen, obwohl die Gesamtkosten des erstgenannten RZ nur der Hälfte des zweitgenannten und einem Drittel des drittgenannten entsprechen. Das CLA C5 hingegen, welches gesamthaft knapp doppelt so teuer ist wie das BSA C249, kostet pro Fläche bedeutend weniger. Dies verdeutlicht, dass die Totalkosten der Serverräume wenig aussagekräftig sind. Der mittlere Serverraum ML F52 kostet pro Serverraumfläche ca. 25% weniger als das CLA C5, aber nicht einmal 15% mehr als Büroserver. Das geplante Hochleistungs-RZ ist bezogen auf die Serverraumfläche mehr als dreimal so teuer wie die RZ der ETH.

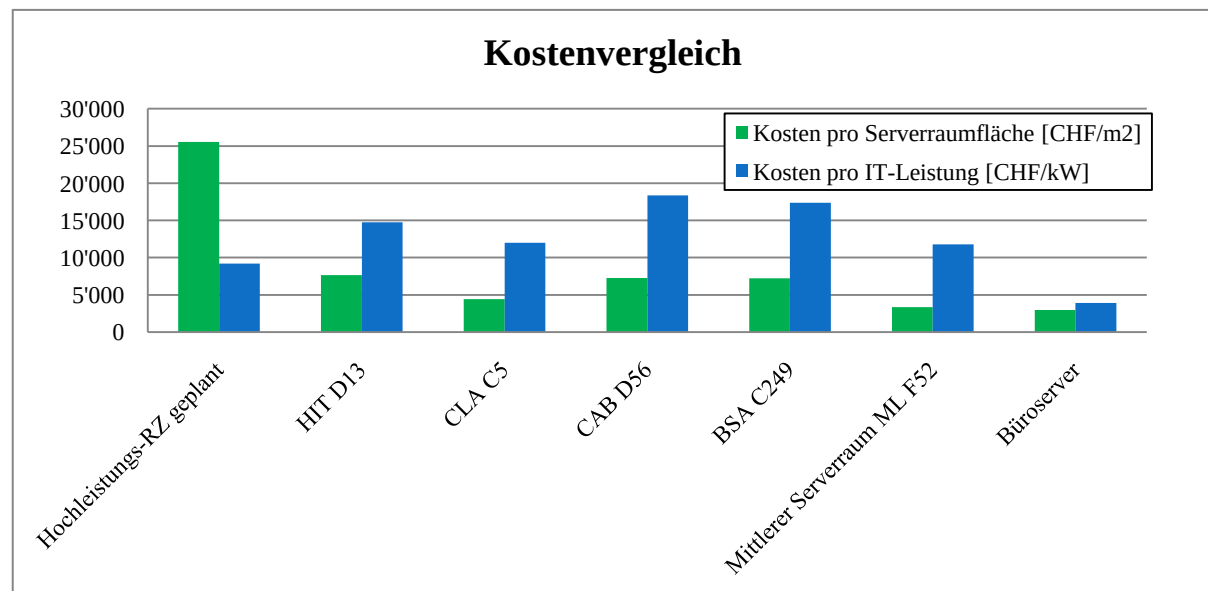
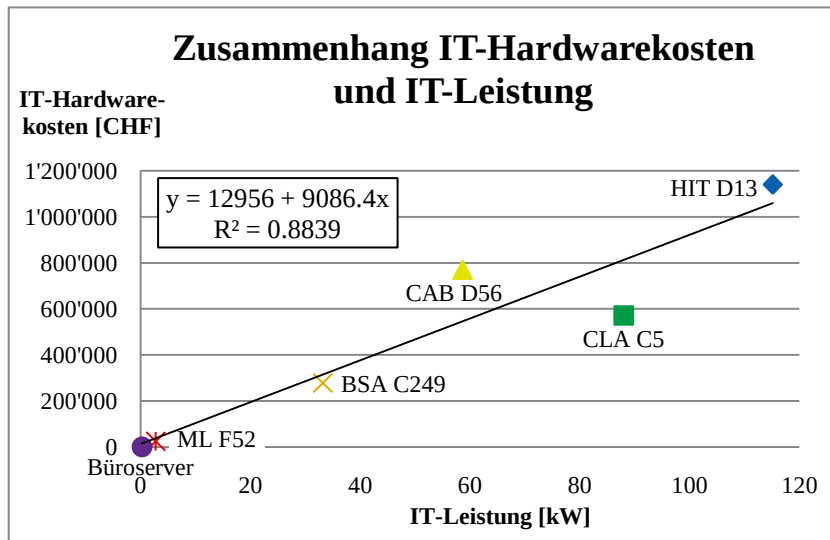


Abbildung 23: Kostenvergleich der Raumklassen

Die Kosten eines Rechenzentrums korrelieren nur zu 10% mit der Fläche, jedoch zu 80% mit der IT-Leistung [42]. Darum ist die Betrachtung von Kosten pro Serverraumfläche problematisch und die Anwendung des Vergleichsindikators (TCO pro IT-Leistung) sinnvoller. Er zeigt, dass das geplante Hochleistungs-RZ nicht teurer, sondern günstiger ist als die RZ der ETH Zürich (vgl.

Kosten pro IT-Leistung in Abbildung 23). Das CAB D56 ist am teuersten, gefolgt vom BSA C249 und dem HIT D13, während das CLA C5 deutlich günstiger ist. Eine lineare Regressionsanalyse zeigt, dass IT-Hardwarekosten und IT-Leistung stark korrelieren ($R^2 = 0.8839$). Abbildung 24



zeigt aber auch, dass die IT-Hardwarekosten beim CLA C5 deutlich unter dem linearen Trend liegen, während sie beim BSA C249 nur knapp darunter, beim HIT D13 knapp darüber und beim CAB D56 sogar deutlich darüber liegen. Sind nun die IT-Hardwarekosten im Verhältnis zur IT-Leistung wie beim CLA C5 tief, so sind auch die Kosten pro IT-Leistung entsprechend niedriger, da die IT-Hard-

Abbildung 24: Zusammenhang von IT-Hardwarekosten und IT-Leistung

ware bis zu 77% der Gesamtkosten ausmacht (vgl. Abbildung 12 – 18). Die Kosten pro IT-Leistung sind im mittleren Serverraum ML F52 beinahe gleich hoch wie im CLA C5, während sie bei Büroservern nur etwa einen Drittel derjenigen des ML F52 betragen. Die niedrigeren Kosten der Büroserver sind einerseits eine Folge der geringeren Hardwarekosten, andererseits ist die Betriebssicherheit dieser Raumklasse niedriger. Im folgenden Kapitel wird mit der Gegenüberstellung von Vergleichs-Indikator und Betriebssicherheit hierzu eine qualitative Aussage gemacht.

5.4 Qualitativer Vergleich

Abbildung 25 zeigt den Zusammenhang zwischen Betriebssicherheit und Kosten pro IT-Leistung. Das Hochleistungs-RZ ist bedeutend günstiger als das HIT D13, welches auf demselben Level der

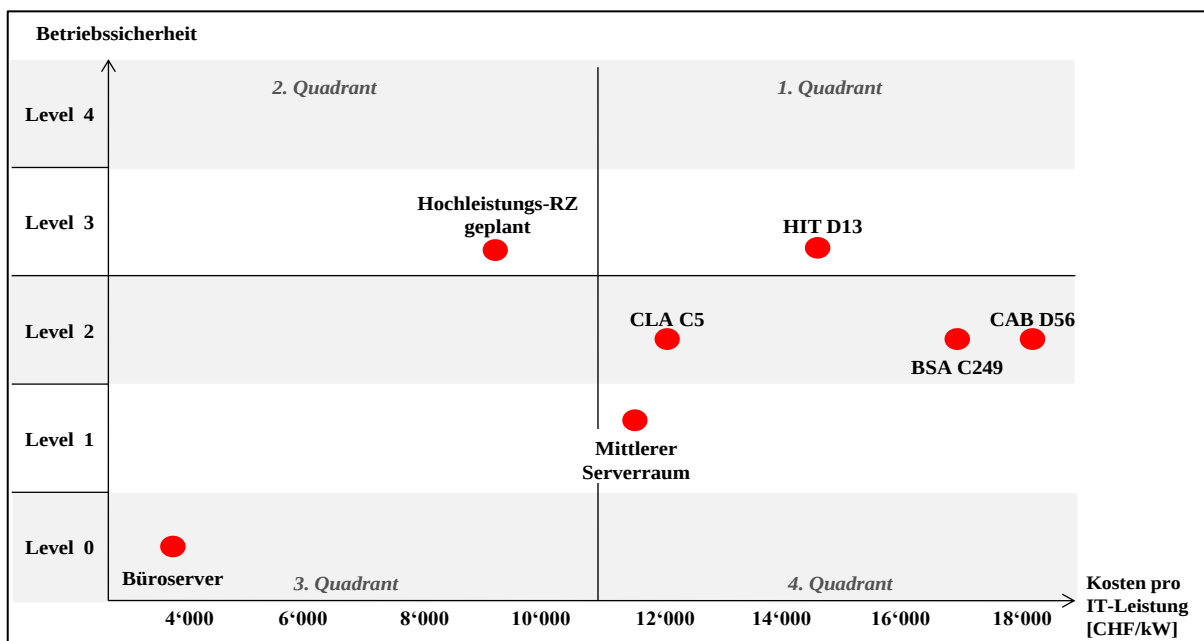


Abbildung 25: Vergleich von Betriebssicherheit und Kosten

Betriebssicherheit ist. Die übrigen RZ der ETH Zürich und der mittlere Serverraum ML F52 sind ebenfalls teurer als der geplante Neubau des CSCS, obwohl sie ein niedrigeres Level der Betriebssicherheit aufweisen. Günstiger sind nur Büroserver, wobei ihre Betriebssicherheit entsprechend geringer ist. Bis auf das HIT D13 befinden sich die RZ der ETH Zürich alle im 4. Quadranten. Da sich dieser durch hohe Kosten pro IT-Leistung und relativ niedrige Betriebssicherheit auszeichnet, sollte er möglichst vermieden werden. Somit stellt sich einerseits die Frage, wie hohe Hardwarekosten vermieden werden können und andererseits, ob ein Weg in Richtung des 3. Quadranten, also geringere Betriebssicherheit, aber auch niedrigere Kosten, möglich ist. Das Entscheidungsdiagramm in Abbildung 26 hilft den geeigneten Standort für einen Server zu finden.

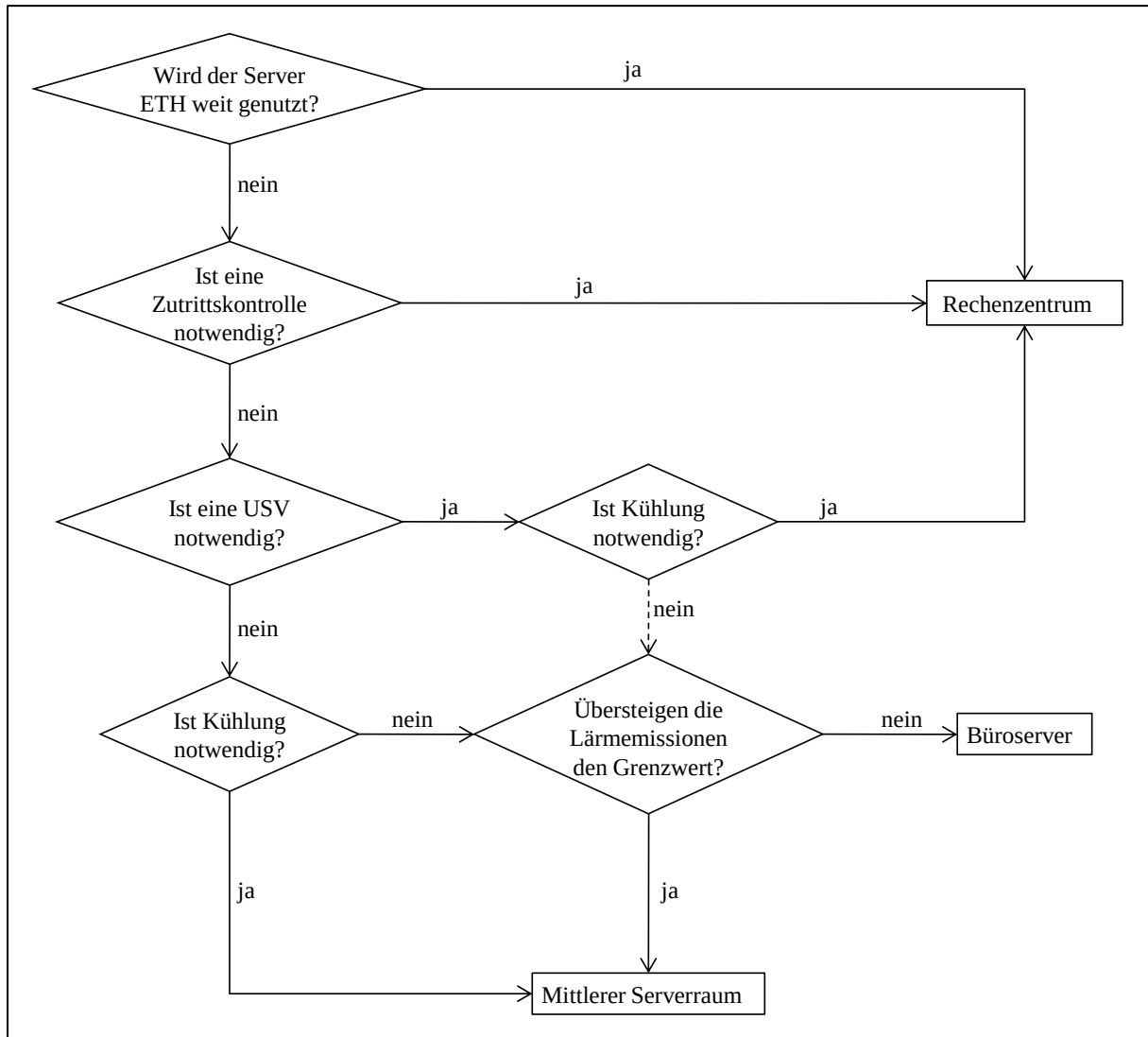


Abbildung 26: Entscheidungsdiagramm für den Serverstandort

Gewisse Kombinationsmöglichkeiten, beispielsweise ETH-weite Nutzung des Servers aber keine USV, sind im Entscheidungsdiagramm nicht aufgeführt, da sie in der Realität nicht vorkommen. Die Möglichkeit mit USV aber ohne Kühlung ist gestrichelt, weil sie wenig Sinn macht: Ist zum Schutz vor einem Ausfall eine unterbrechungsfreie Stromversorgung notwendig, so bedarf es sinnvollerweise auch einer Kühlung von Server und USV.

Ist das momentane Level der Betriebssicherheit tatsächlich notwendig, so bleibt das Ziel der horizontalen Verschiebung in Richtung niedrigere Kosten (vgl. Abbildung 25). In Kapitel 6 „Optimierungsansätze und Handlungsempfehlungen“ werden dazu verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt.

5.5 Externer Vergleich

5.5.1 Energieeffizienz

Gemäss Herr Eggeler, Abteilungsleiter RZ Betrieb der Stadt Zürich, liegt der durchschnittliche PUE der Mitglieder der Gruppe „Erfahrungsaustausch Rechenzentrums-Betreiber“ bei 2.00, wobei die Werte zwischen 1.45 und 2.37 variieren, wenn keine Wärmerückgewinnung existiert (vgl.

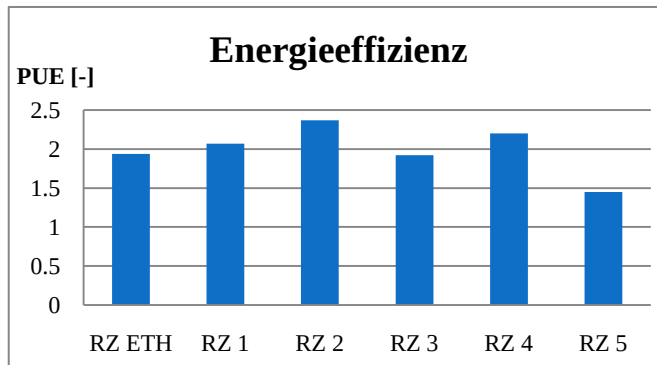


Abbildung 27: Externer Vergleich der Energieeffizienz

RZ 1 bis RZ 5 in Abbildung 27). Andere Rechenzentren, bei welchen die Wärmerückgewinnung umgesetzt wird, weisen gemäss Herr Eggeler PUEs zwischen 1.48 und 2.77 auf, bei einem Mittel von 1.86. Der für die RZ der ETH Zürich ermittelte Bereich (1.40 bis 2.29) stimmt, wie auch der Durchschnitt von 1.94, gut mit den Werten der Gruppe „Erfahrungsaustausch Rechenzentrums-Betreiber“ überein. Die Räume der ETH Zürich schneiden jedoch

eher etwas besser ab. Eine weitere Gegenüberstellung mit dem Umfrageergebnis von „The Green Grid“ (mittlerer PUE von 2.03) aus dem Jahr 2009 lässt denselben Schluss zu: Die RZ der ETH Zürich nutzen die Energie etwas effizienter als andere Rechenzentren [27].

5.5.2 Kosten

Leider verfügte keines der angefragten Unternehmen über eine ähnlich detaillierte Aufstellung der Kostenfaktoren und ihrer Anteile, wie sie für diese Arbeit gemacht wurde. Bezüglich Housing Kosten ist aber dennoch ein Vergleich möglich. Darin enthalten sind sämtliche Kosten für Gebäude, Infrastruktur, Sicherheit, Management und Energie des Rechenzentrums, nicht aber für IT-Geräte, deren Energiebezug und deren Management. Gemäss Herr Eggeler belaufen sich die Kosten für ein Rechenzentrum mit Tier

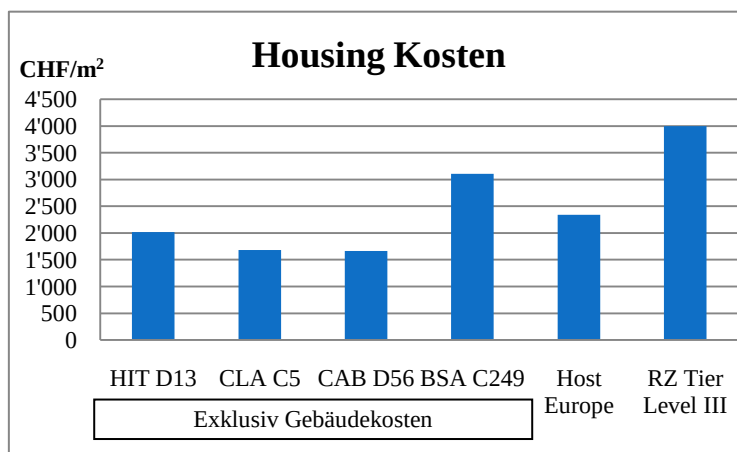


Abbildung 28: Vergleich der Housing-Kosten an der ETH Zürich und extern

III Ausfallsicherheit auf 4'000 bis 5'000 CHF/m². Die Kosten der RZ an der ETH Zürich bewegen sich zwischen knapp 1'700 und rund 3'100 CHF/m² (vgl. Abbildung 28). Die niedrigeren Kosten erklären sich einerseits dadurch, dass bei den RZ der ETH die Baukosten des Gebäudes nicht berücksichtigt sind und andererseits ist die Ausfallsicherheit geringer als bei einem RZ mit Tier III Level. Host Europe bietet für 1'800 €/m² (ca. 2'350 CHF/m²) RZ-Stellfläche an,

wobei die gesamte Energie zusätzlich bezahlt werden muss [43]. Somit wird deutlich, dass die Housing-Kosten der RZ an der ETH Zürich kaum höher sind als bei anderen Firmen. Sie sind sogar, je nach Ausfallsicherheit, eher etwas geringer. Demnach sollte der Fokus zur Kostenreduktion auf die IT-Hardware gelegt werden.

6 Optimierungsansätze und Handlungsempfehlungen

Da die Amortisation der IT-Hardware und die Energiekosten je nach Raum zwischen 64% und 91% (vgl. Abbildung 13 - 18) betragen, zielen die Optimierungsansätze weitgehend darauf ab, diese Kostenanteile zu reduzieren. Beim drittgrössten Faktor, der Rauminfrastruktur, sind Einsparungen schwierig, weil sie einerseits für die Betriebssicherheit notwendig ist und andererseits eine Neubeschaffung erst am Ende der Lebensdauer von ca. 15 Jahre Sinn macht. Um diese Kosten dennoch zu senken, können die Server in eine günstigere Raumklasse mit weniger Infrastruktur und entsprechend geringerer Betriebssicherheit verschoben werden. Dadurch lassen sich die Infrastrukturkosten senken, nicht aber die Amortisationskosten der IT-Hardware.

Das Einsparpotential der Optimierungsansätze bezieht sich lediglich auf die Realisierung eines Ansatzes. Werden mehrere Optionen umgesetzt, so verringert sich das Sparpotential der zweiten und jeder weiteren Massnahme.

6.1 Optimierung des Energieverbrauchs

Beim Vergleich der PUE Werte der ETH-Rechenzentren (1.94) mit einem „state-of-the-art“ RZ, wie dem Neubau des CSCS (1.23), ist leicht zu erkennen, dass an der ETH Zürich erhebliches Sparpotential vorhanden ist. Die Differenz von 0.71 entspricht 37%, wobei sich die gesamten 37% an der ETH Zürich ohne Neubau nicht ausschöpfen lassen. Mit den folgenden Ansätzen soll dennoch gezeigt werden, in welchen Bereichen sich Massnahmen realisieren lassen und wie viel dabei etwa eingespart werden kann.

6.1.1 Einhausung

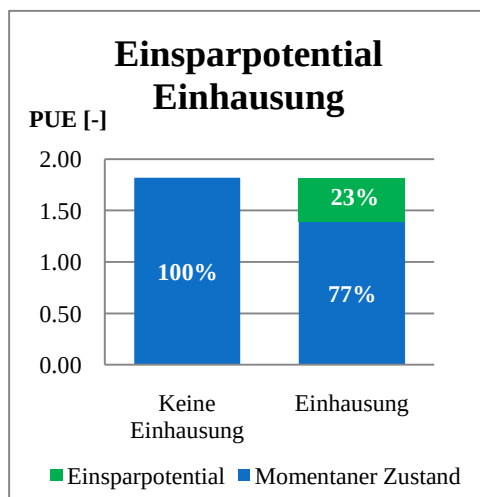


Abbildung 29: Einsparpotential einer Einhausung an der ETH Zürich

Die Vorstufe der Einhausung, die Kalt-/Warmgangtrennung, ist in den RZ der ETH Zürich bereits implementiert, womit nur die Einhausung als mögliche Massnahme übrig bleibt. Ein Vergleich der PUE Werte eines RZ mit (CAB D53) und ohne Einhausung (CAB D56) zeigt, dass sich ca. 23% der Energie einsparen lässt (vgl. Abbildung 29). Dabei kann der Kühlungsanteil (Kälte sowie Lüftung und Befeuchtung) von 29% auf 8% gesenkt werden (vgl. Abbildung 6 & 8). Dies entspricht einer Einsparung von mehr als 70%, wobei sich der Kälteanteil stärker reduziert als der Anteil von Lüftung und Befeuchtung. Diese Einsparung stimmt gut mit externen Erfahrungswerten überein [44-45]. Eine Reduktion der Stromkosten um 23% entspricht beim CAB D56 jährlich knapp 25'000 CHF. Auf der Aufwandseite fielen gemäss

den Angaben von Herrn Giger, verantwortlicher Architekt des Gebäudes CAB, gut 160'000 CHF für den Umbau des CAB D53 an. Dies beinhaltet Einhausung, Umbau der Kühlgeräte, elektrische Verkabelung, Luftführung im Doppelboden und zusätzliche Racks. Multipliziert mit dem Flächenverhältnis der beiden RZ ergibt das Kosten von 220'000 CHF für das CAB D56. Aus finanzieller Sicht lohnt sich eine Einhausung also erst ab dem 9. Jahr. Zusätzlich ist aber die viel dichtere Anordnung der Server und somit die grössere Kapazität des Raumes ein grosser Vorteil.

6.1.2 Power Management

Das Power Management ermöglicht Servern, die nur teilweise oder gar nicht ausgelastet sind, in einen Energiespar-Modus zu wechseln. Eine Studie des Computer-Chip Herstellers AMD zeigt, dass bei Auslastungen unter 20% Einsparungen von bis zu 20% gemessen wurden [46]. Eine Studie vom Prozessor-Chip Hersteller Intel gibt ebenfalls an, dass bis zu 20% der Energie ohne Einbusse der Arbeitsleistung eingespart werden kann und eine Untersuchung von Knürr ergab eine Einsparung von 11% [24, 47]. Jedes Watt, das beim Server eingespart wird, muss nicht gekühlt und von der USV zur Verfügung gestellt werden. Somit entspricht die gesamte erzielbare Energieersparnis der Server-Energie multipliziert mit dem PUE. Geht man davon aus, dass 20% der Server-Energie eingespart werden kann, so können bei Kühlung und USV weitere 19% (bei einem PUE von 1.94) reduziert werden. Total liessen sich in diesem Fall 39% der Energie einsparen. Dies gilt allerdings nur für einen Teil der Server, weil an der ETH Zürich nicht alle Server über ein Power Management verfügen. Gemäss Herr Hirter, ISL am Departement Umweltwissenschaften, verfügen seit 2009 alle Server über ein Power Management. Nimmt man an, dass die Server an der ETH Zürich gleichmässig über die mittlere Lebensdauer von fünf Jahren verteilt sind, so verfügen 2010 20% aller Server über ein Power Management. Somit kann an der ETH Zürich bei 20% der Server 39% der Gesamtenergie eingespart werden. Dies bedeutet konkret zwischen 7% und 8% der gesamten Energie eines Rechenzentrums.

Der Aufwand für die Nutzung des Power Managements ist sehr gering. Die nötigen Einstellungen können beim Aufsetzen des Server vorgenommen werden, doch die zuständigen Personen müssen informiert und das Power Management muss auch tatsächlich aktiviert werden.

6.1.3 Erhöhung der Temperaturtoleranzen

Gemäss den Messungen der Informatikdienste bewegten sich die Temperaturen der ETH Rechenzentren im zweiten Quartal 2010 zwischen 21°C und 28°C mit einem Mittel von 24.4°C (vgl. Anhang 2.1). Jeweils zwei unabhängige Messungen während den Strommessungen ergaben konstante Temperaturen von knapp 20°C, resp. 22.5°C fürs CAB D56 und 21.5°C, resp. 24°C fürs CAB D53 (vgl. Anhang 2.4). Die Maximalwerte lagen für das D56 etwa 2.5°C unter den Messungen der ID. Fürs CAB D53 stimmten die Maximalwerte relativ gut überein, die durchschnittliche Temperatur lag hingegen 1° - 2°C tiefer. ASHRAE empfiehlt Temperaturen von 18°C bis 27°C in Rechenzentren[48]. Bereits 1995 zeigte eine Studie des BFE, dass EDV-Räume problemlos bei 26°C betrieben werden können [49]. Dieser Studie ist zu entnehmen, dass jedes Grad Temperaturerhöhung ca. 4% der Kühlenergie einspart. Aufgrund der Messungen und der Empfehlungen kann davon ausgegangen werden, dass eine durchschnittliche Erhöhung um 2°C möglich ist. Das ergibt ein Sparpotential von 8% des Kühlungsanteils, welcher etwa 30% des Energieverbrauchs ausmacht (vgl. Abbildung 6 - 8), also ca. 2.5% der Gesamtenergie. Dafür müssen die Einstellungen der Kühlgeräte schrittweise angepasst werden, was ohne zusätzliche Investition möglich ist.

6.1.4 Freie Kühlung

Bei der freien Kühlung wird, besonders in kühlen Jahreszeiten, die kalte Aussenluft zur Kühlung von Serverräumen eingesetzt. Weil nicht konstant mit einer Anlage gekühlt werden muss, lassen sich die Kaltwassertemperaturen von Vor- und Rücklauf (vgl. Abbildung 3) erhöhen, was zu einer verbesserten Effizienz führt (Erhöhung des COP) [50]. Eine Studie im Auftrag des BFE kam zum Schluss, dass sich der Anteil der Kühlung am Gesamtstromverbrauch von 33% ohne freie Kühlung, auf unter 5% mit freier Kühlung und erhöhter Kaltwassertemperatur senken lässt [50]. Auch

an der ETH Zürich beträgt der Kühlungsanteil etwa 30%, die Kaltwassertemperaturen variieren aber gemäss Herrn Streuli von der Abteilung Bauten zwischen 7°C und 12°C im Vorlauf sowie 14°C und 18°C im Rücklauf. Eine Erhöhung der Kaltwassertemperatur und die damit verbundene Effizienzsteigerung wäre demnach nur für gewisse Anlagen möglich. An der ETH Zürich liessen sich somit vermutlich etwa 20% des totalen Stromverbrauchs einsparen. Weil sich die Rechenzentren der ETH Zürich in den meisten Fällen im Untergeschoss eines Gebäudes befinden, sind zur Realisierung bauliche Massnahmen notwendig. Nebst dem Durchbruch der Aussenmauern müsste ein Lüftungskanal durch das Gebäude bis zum RZ erstellt werden.

6.1.5 Effiziente Hardware beschaffen

Mit der Beschaffung effizienter Hardware lässt sich der Energieverbrauch deutlich senken. Eine gemeinsame Studie von Fujitsu Siemens Computers und Knürr kam zum Schluss, dass sich ohne Leistungseinbusse ein Drittel der Energie einsparen lässt, wenn bewusst energieeffiziente Komponenten verwendet werden [51]. Selbst wenn nicht alle Komponenten bezüglich Energieeffizienz maximiert werden, kann der Stromverbrauch durch den Einsatz von effizienten Netzteilen und Blade Servern deutlich gesenkt werden. Blade-Server verbrauchen bis zu 10% weniger Strom, da sich mehrere Server ein Netzteil teilen [24]. An der Universität Zürich wird diese Möglichkeit gemäss Herrn Godknecht, Leiter der IT-Infrastruktur, heute bereits genutzt. Hocheffiziente Netzteile sparen etwa 12% des Stromverbrauchs eines Servers und zusammen mit Blade-Servern kann die Serverenergie um ca. 13% reduziert werden [24]. Aufgrund dieser Angabe liesse sich der Energiebedarf der Rechenzentren der ETH Zürich etwa um 25% senken, da jedes eingesparte Prozent bei den Servern nochmals 0.94% Einsparungen ($PUE = 1.94$) bei Hilfskomponenten und Verlusten bringt. Zur Umsetzung dieser Massnahme ist keine finanzielle Investition, aber eine Sensibilisierung der beschaffenden Personen notwendig. Selbst mit Sensibilisierungsmassnahmen wird es schwierig werden die gesamten 25% einzusparen, realistischer sind an der ETH Zürich vermutlich eher tiefere Werte (zwischen 15% und 20%). Weiter muss beachtet werden, dass sich nicht das gesamte Potential sofort ausschöpfen lässt, da die Server erst am Ende ihres Lebenszyklus, also im Verlauf der nächsten fünf Jahre, durch effizientere Geräte ersetzt werden können.

6.2 Optimierung der Kosten

6.2.1 Konsolidierung und Virtualisierung

Konsolidierung und Virtualisierung zielen auf die Reduktion der Anzahl Geräte ab, wodurch sowohl IT-Hardware- als auch Stromkosten eingespart werden können. Konsolidierung bedeutet, dass mehrere Systeme, Applikationen oder Datenbanken zusammengeführt werden, was zu einer Vereinheitlichung und dadurch zu einer Vereinfachung und einer Erhöhung der Flexibilität führt [40]. Bei der Virtualisierung werden die Dienste von der physischen Hardware entkoppelt, was das Betreiben mehrerer virtueller Server auf einem physischen ermöglicht [40]. Dabei sollten die Anwendungen schon vor der Virtualisierung so weit wie möglich zusammengeführt und vereinheitlicht, also konsolidiert, werden. Abbildung 30 verdeutlicht dies: Bereits vor der Virtualisierung (links) laufen zwei Anwendungen auf einem physischen Server. Durch die Virtualisierung können die vier physischen Systeme zu einem einzigen mit acht Anwendungen zusammengefasst werden (rechts). Dadurch lassen sich in diesem Beispiel 50% der Gesamtenergie einsparen. Gemäss BITKOM ist dies jedoch eine konservative Annahme [40]. Im Normalfall verrichten Server 5% - 15% der möglichen Arbeit, bei der Virtualisierung lässt sich dieser Wert auf 70% bis sogar

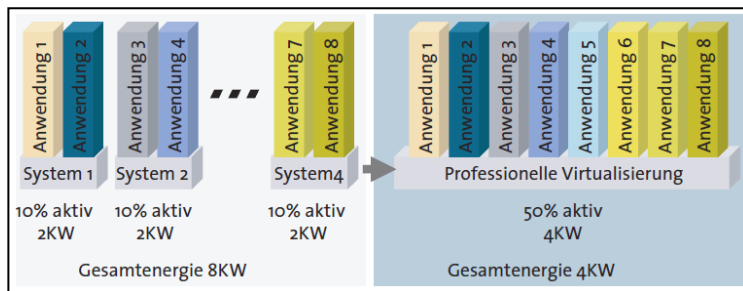


Abbildung 30: Konsolidierung und Virtualisierung,
Quelle: BITKOM [40]

90% steigern [6]. Bei Auslastungen unter 15% benötigen Server zwischen 60% und 70% der Energie, die sie bei Volllast benötigen. Bei einer Auslastung von 80% sind es etwa 95% [42]. Wenn nun 10 virtuelle Server auf einem physischen betrieben werden, lässt sich die Energie von 10x65% auf 1x95% der Volllast senken. Dies entspricht

einer Energieeinsparung von etwa 85%. Die Stadtverwaltung Kopenhagen konnte durch Konsolidierung und Virtualisierung die Serverzahl um den Faktor 20 verkleinern, was zu Energieeinsparungen von 75% bis 85% geführt hat [15]. Gemäss den Aussagen von Herrn Hirter, ISL am Departement Umweltwissenschaften, konnten an seinem Departement rund 30 Server mit je ca. 200W auf drei Server mit etwa 300W Stromverbrauch reduziert werden (vgl. Anhang 3.8). Dieser Vergleich zeigt, dass eine Einsparung von 85% eine realistische Annahme ist. Bei den Kosten kann nicht mit der gleichen Einsparung gerechnet werden wie bei der Energie, da zusätzlich eine Virtualisierungssoftware nötig ist. Wird erneut davon ausgegangen, dass 10 alte auf einem neuen, doppelt so teuren Server virtualisiert werden und die Software ebenfalls zweimal so viel wie ein alter Server kostet, so beläuft sich das Kostenverhältnis von nach der Virtualisierung zu vorher auf 4:10. Dies kommt einer Einsparung von 60% gleich, was Herr Hirter bestätigt hat. Herr Godknecht, Leiter der IT-Infrastruktur an der Universität Zürich, schätzt die Kosteneinsparung sogar auf etwa 66%. Können 60% der Hardware- und 85% der Energiekosten eingespart werden, so entspricht dies einem Einsparpotential von knapp 50% der gesamten Kosten (vgl. Anhang 3.8). Die Interviews mit den ISLs aller Departemente machten deutlich, dass dieses Einsparpotential nicht für alle Server angenommen werden darf: Cluster, beispielsweise, lassen sich nicht virtualisieren. Die ISLs gaben ein Virtualisierungspotential zwischen 0% und 60% an, was für die ETH Zürich einen Mittelwert von knapp 23% ergibt (vgl. Anhang 5.1, Frage 30). Somit liessen sich etwa 23% der knapp 50% einsparen, das sind rund 11% der Gesamtkosten.

Die Erfahrungen von Herrn Hirter und Herrn Godknecht machen deutlich, dass die hohe Flexibilität und die Vereinfachung der Wartung sowie des administrativen Aufwands weitere Vorteile von Virtualisierung und Konsolidierung sind. Auf der anderen Seite sind bei einem Serverausfall bedeutend mehr Anwendungen betroffen. Dies ist insofern nicht problematisch, als dass sich die virtuellen Server innerhalb weniger Minuten auf einer anderen Hardware hochfahren lassen. Die Anwender bemerken dies oft gar nicht, so Herr Hirter.

Auf der Aufwandsseite fallen neben den Softwarekosten auch personelle Aufwände an. Da erstere bereits mit dem Einsparpotential verrechnet wurden, müssen nur letztere berücksichtigt werden. Diese sind jedoch eher hoch: Inaktive Server müssen identifiziert, konsolidiert und virtualisiert werden. Zudem ist ein Management der virtuellen Umgebung notwendig.

Gemäss Herrn Hiltbrunner und Herrn Winkelmann von den Informatikdiensten der ETH Zürich sind etwa 50 Server notwendig, um eine virtuelle Umgebung effizient zu betreiben. Somit lässt sich diese Massnahme entweder auf Ebene eines ganzen Departementes realisieren, oder bei den ID der ETH Zürich. Die zweite Möglichkeit hat die Vorteile, dass keine Mindestgrösse erforderlich ist und das Management der virtuellen Umgebung von den Informatikdiensten übernommen wird. Somit ergibt sich für den Betreiber im Vergleich zum physischen Server kein zusätzlicher

Aufwand. Der Grund, weshalb das Angebot der ID nur relativ spärlich genutzt wird, sind die hohen Kosten (vgl. Tabelle 3). Das zurzeit praktizierte „Pauschal“-Modell ist klar teurer als ein physischer Server bei einer Lebensdauer von fünf Jahren. Da sich die Anforderungen an die virtuellen Server geändert haben, werden die Verantwortlichen der ID das Verrechnungsmodell entsprechend anpassen: In Zukunft bezahlt der Kunde nur, was er effektiv bezieht (verbrauchsabhängig). Dadurch werden die Konfigurationen in Tabelle 3 günstiger. Mit einer Ausnahme (8 Cores, 32 GB Memory, 0 TB Speicher) ist aber auch dieses Modell teurer als ein physischer Server über fünf Jahre. Dies liegt nicht am virtuellen Server selbst, sondern am Disk Speicher. Ein virtueller Server der ID wird im neuen Verrechnungsmodell mit 520 CHF (virtueller Server plus Disk Speicher) fast gleich teuer sein wie ein virtueller Server des D-UWIS mit 540 CHF. Dies zeigt, dass speicherarme virtuelle Server durchaus konkurrenzfähig sind.

Tabelle 3: Kostenvergleich zwischen virtuellen und physischen Servern⁹

			Kosten Informatikdienste							
Serverkonfiguration			Speicher	Pauschal		Verbrauchsabhängig				
		Disk Speicher	Disk Speicher pro Jahr	Virtueller Server pro Jahr	5 Jahre	Virtueller Server pro Jahr	3 Jahre	5 Jahre	Physischer Server	Departement
Cores	Memory									
1	2 GB	0.1 TB	200.-	500.-		320.-			540.-	D-UWIS
2	4 GB	2 TB	4'000.-	1'200.-	26'000.-	500.-	13'500.-	22'500.-	3'500.-	D-MTEC
2	4 GB	15 TB	30'000.-	1'200.-	156'000.-	500.-	91'500.-	152'500.-	27'000.-	D-PHYS
4	8 GB	2.5 TB	5'000.-	1'900.-	34'500.-	900.-	17'700.-	29'500.-	8'000.-	D-PHYS
8	32 GB	0 TB	0.-	3'900.-	19'500.-	1'900.-	5'700.-	9'500.-	13'500.-	D-AGRL
8	32 GB	4.5 TB	9'000.-	3'900.-	64'500.-	1'900.-	32'700.-	54'500.-	34'000.-	D-PHYS

Da speicherintensive virtuelle Server bedeutend teurer sind als physische, sollte im Zuge der Umsetzung dieser Massnahme eine Senkung des Speicher-Preises geprüft werden. Dies würde die Attraktivität der virtuellen Server enorm steigern und bei einer genügend grossen Anzahl wird die ETH Zürich gesamthaft, die Departemente und nicht zuletzt die Umwelt davon profitieren.

6.2.2 Vollständige Zentralisierung des Einkaufs von IT-Hardware

Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion des grössten Kostenblocks, die Amortisation der IT-Hardware, ist der Preis der Hardware. Durch einen zentralen Einkauf liesse sich das Volumen vergrössern und der Preis entsprechend drücken. In einigen Bereichen existiert an der ETH Zürich bereits eine Koordination des Einkaufs von IT-Hardware, beispielsweise beim Projekt Neptun¹⁰. Eine vollständige Zentralisierung des Einkaufs mit der Einbindung aller Departemente der ETH Zürich ist jedoch noch weit von der Realität entfernt. Eine Einschätzung des Sparpotentials dieser Option ist äusserst schwierig, weil für eine korrekte Angabe nicht nur Server, sondern sämtliche IT-Hardware und ihre Schnittstellen betrachtet werden müssen. Werden beispielsweise bei der Firma XY viele Computer und Laptops eingekauft (z.B. über das Projekt Neptun), so ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass für einen Server der Firma XY der Preis entsprechend niedriger ist. Eine Analyse aller IT-Geräte, deren Schnittstellen und des resultierenden Einflusses auf den Preis hätten den Rahmen dieser Arbeit gesprengt. Darum wird dieser Ansatz nicht weiter ausgeführt.

⁹ Die Angaben basieren auf persönlicher Kommunikation mit den ISLs und H. Hiltbrunner (ID), 18.08.2010.

¹⁰ Beim Projekt Neptun werden Laptops für Studierende und Mitarbeiterinnen, resp. Mitarbeiter, der ETH Zürich zentral eingekauft und den Abnehmerinnen und Abnehmern zu vergünstigten Konditionen weitergegeben.

6.3 Optimierung der politischen Situation

6.3.1 Gemeinsame Nutzung von Servern und Clustern

Die gemeinsame Nutzung von Servern und Departements-, resp. Professuren-Clustern ist eine weitere Möglichkeit, um die Anzahl Geräte zu minimieren und so Hardware- und Energiekosten einzusparen. Bei Servern ist die gemeinsame Nutzung von standardisierten Anwendungen wie Print-Server über mehrere Professuren innerhalb eines Departementes denkbar. Bei Clustern ist durchaus auch eine Nutzung über mehrere Departemente möglich. Bestes Beispiel dafür ist der Hochleistungs-Cluster „Brutus“ an der ETH Zürich. Für den Kauf haben sich mehrere Professuren, sogenannte Shareholders, zusammengeschlossen und erhalten dafür anteilmässig garantierten Anspruch auf die Rechenleistung. Sie werden gegenüber nicht-zahlenden Anwendern prioritär behandelt. Diese können die Ressourcen nutzen, solange sie nicht von einem Shareholder benötigt werden [52]. Dadurch lässt sich die Auslastung deutlich steigern. Eine ähnliche Variante ist durchaus auch für kleinere Cluster, welche zur Zeit nur an einzelnen Professuren oder Departementen genutzt werden, denkbar. Dadurch, dass nur sehr wenige Personen auf diesen Clustern rechnen, sind sie teilweise während mehreren Wochen unproduktiv. In dieser Zeit könnten die Ressourcen jedoch von anderen Anwendern genutzt werden. Neben den nicht-zahlenden Anwendern profitieren auch die Käufer des Clusters, da sie durch das Bündeln der finanziellen Mittel mehr Rechenleistung für ihr Geld erhalten. Je nach Nutzungssystem ist jedoch eine gewisse Koordination unter den Anwendern notwendig.

Eine Abschätzung des Sparpotentials ist sehr schwierig. Könnte jeder fünfte Cluster oder Server eingespart werden, entspräche dies Einsparungen von 20% der Amortisation der IT-Hardware und der Energie. Das sind ca. 15% der Totalkosten. Bei einer vorsichtigeren Schätzung mit 10% Kosteneinsparung würde etwa jeder siebte Cluster oder Server eingespart.

6.3.2 Verrechnen der Serverraum-Kosten

Ein finanzieller Anreiz kann ebenfalls eine Variante sein, um die Serverzahl in den Rechenzentren zu reduzieren. Die Einsparungen würden sich wahrscheinlich im Bereich der Virtualisierung und Konsolidierung bewegen. Grundsätzlich sind zwei Ansätze denkbar: Entweder muss für jeden Server ein Betrag bezahlt werden oder für jeden Server, der aus einem RZ verschwindet, wird ein Bonus ausbezahlt. Dieser Bonus müsste einerseits genügend hoch sein, damit die Server auch wirklich aus den RZ entfernt werden, andererseits dürfte er die Einsparungen nicht übersteigen. Somit ist zu bezweifeln, dass sich mit dieser Variante viel einsparen lässt. Damit bleibt die Möglichkeit der Verrechnung der Serverraum-Kosten. Diese werden, abgesehen von den IT-Hardwarekosten, zur Zeit von der ETH Zürich zentral getragen. Für die Verrechnung sind verschiedene Varianten denkbar. Eine erste Möglichkeit ist die Verrechnung der Stromkosten, da diese für die ETH Zürich den grössten Kostenfaktor darstellen. Wird der Strom nur in Rechenzentren verrechnet, würde dies höchst wahrscheinlich dazu führen, dass viele Server in mittlere Serverräume verschoben würden, denn in diesen Räumen würde der Strom kostenlos zur Verfügung stehen. Konsequenterweise müsste also der Stromverbrauch jedes Servers, unabhängig vom Standort, verrechnet werden. Dazu müssten in sämtlichen Departementsräumen Stromzähler installiert werden. Die Verbrauchsdaten müssten anschliessend zur Verrechnung in ein Verrechnungssystem übertragen werden, was einem beträchtlichen administrativen Aufwand gleich kommt. Eine zweite Option ist die Verrechnung der Fläche in einem Serverraum. Gegen diese Variante spricht, dass Racks gleich viel Platz benötigen wie einzelne Server, jedoch viel mehr

Server beinhalten können. Dadurch ist der Stromverbrauch entsprechend höher und die Betreiber von Servern, welche nicht in Racks stehen, wären benachteiligt. Ausserdem stellt sich die Frage, wie virtuelle Server behandelt werden sollen. Eine dritte Möglichkeit ist die Verrechnung eines pauschalen Betrages pro Server. Dagegen kann argumentiert werden, dass „Rack-Server“ benachteiligt werden, weil für einen einzelnen und für einen „Rack-Server“ gleich viel bezahlt werden muss, letzterer aber viel weniger Fläche des RZ benötigt. Bei virtuellen Servern ist diese Problematik noch grösser. Eine faire und von allen Beteiligten akzeptierte Verrechnung ist demnach äusserst schwierig zu finden. Zudem ist es fraglich, ob die Verrechnung der Kosten, eine akzeptierte Option vorausgesetzt, wirklich zu einer Einsparung in der Grössenordnung von Konsolidierung und Virtualisierung führt.

Ausserdem ist mit grossem Widerstand aus den Departementen zu rechnen, da plötzlich für etwas bezahlt werden muss, das bis anhin kostenlos war.

6.3.3 Harmonisierung der Serverräume

Zurzeit sind die Serverräume an der ETH Zürich extrem heterogen. Dies hängt einerseits damit zusammen, dass in einem RZ Server mehrerer Departemente stehen, andererseits existieren für die Beschaffung keine Richtlinien. Dadurch werden dutzende verschiedener Geräte beschafft, welche jeweils den individuellen Bedürfnissen bestmöglich entsprechen. Als Konsequenz sind kaum zwei nebeneinander stehende Server gleich. Dies verunmöglicht ein effizientes Betreiben der Räume. Stehen beispielsweise in einem Raum neben Racks auch Gestelle mit Servern, so ist keine Einhausung möglich. Eine Verschiebung aller „Gestell-Server“ in einen oder zwei Räume wäre nicht nur ein beträchtlicher logistischer Aufwand, sondern würde mit Sicherheit auch bei den Betreibern auf grossen Widerstand stossen. Eine Harmonisierung wird erst im Laufe der nächsten Jahre möglich sein. Dafür sind Richtlinien für Server in einem RZ notwendig.

Dieser Ansatz ist als Unterstützung für andere Massnahmen, beispielsweise Konsolidierung und Einhausung gedacht. Dadurch sind keine direkten Einsparungen sichtbar und eine Abschätzung des Einsparpotentials ist schlecht möglich. Der Aufwand zur Ausarbeitung der nötigen Richtlinien dürfte nicht allzu hoch sein. Um die Harmonisierung in einem vernünftigen Zeitraum umsetzen zu können, müssten diese Richtlinien dann aber zwingend eingehalten werden.

6.4 Handlungsempfehlungen

Abbildung 31 gibt einen Überblick über die Abschätzungen des Einsparpotentials bezüglich Energie und Kosten in Abhängigkeit von Aufwand, resp. Realisierbarkeit. Die Balken stellen den Bereich von Sparpotential, Aufwand oder Realisierbarkeit dar. Je länger der Balken, desto schwieriger ist eine genaue Aussage. Bei kurzen Balken dürften die Angaben mit relativ grosser Wahrscheinlichkeit stimmen. Der Schnittpunkt beider Balken bezeichnet den wahrscheinlichsten Punkt.

Beim Aufwand wurde neben dem finanziellen besonders der personelle Aufwand zur Umsetzung der Massnahme, inklusive Informations- und Sensibilisierungsarbeiten berücksichtigt. Bei der Realisierbarkeit war ausschlaggebend, inwiefern der Ansatz eine Veränderung der momentanen Situation darstellt und dadurch mit dem Widerstand der betroffenen Personen gerechnet werden muss. Viele Ansätze sind nicht sofort realisierbar, sondern benötigen etliche Sensibilisierungsmassnahmen und Überzeugungsarbeit. Dies wiederum hat einen personellen Aufwand zur Folge, wodurch Aufwand und Realisierbarkeit nicht hundertprozentig getrennt werden können.

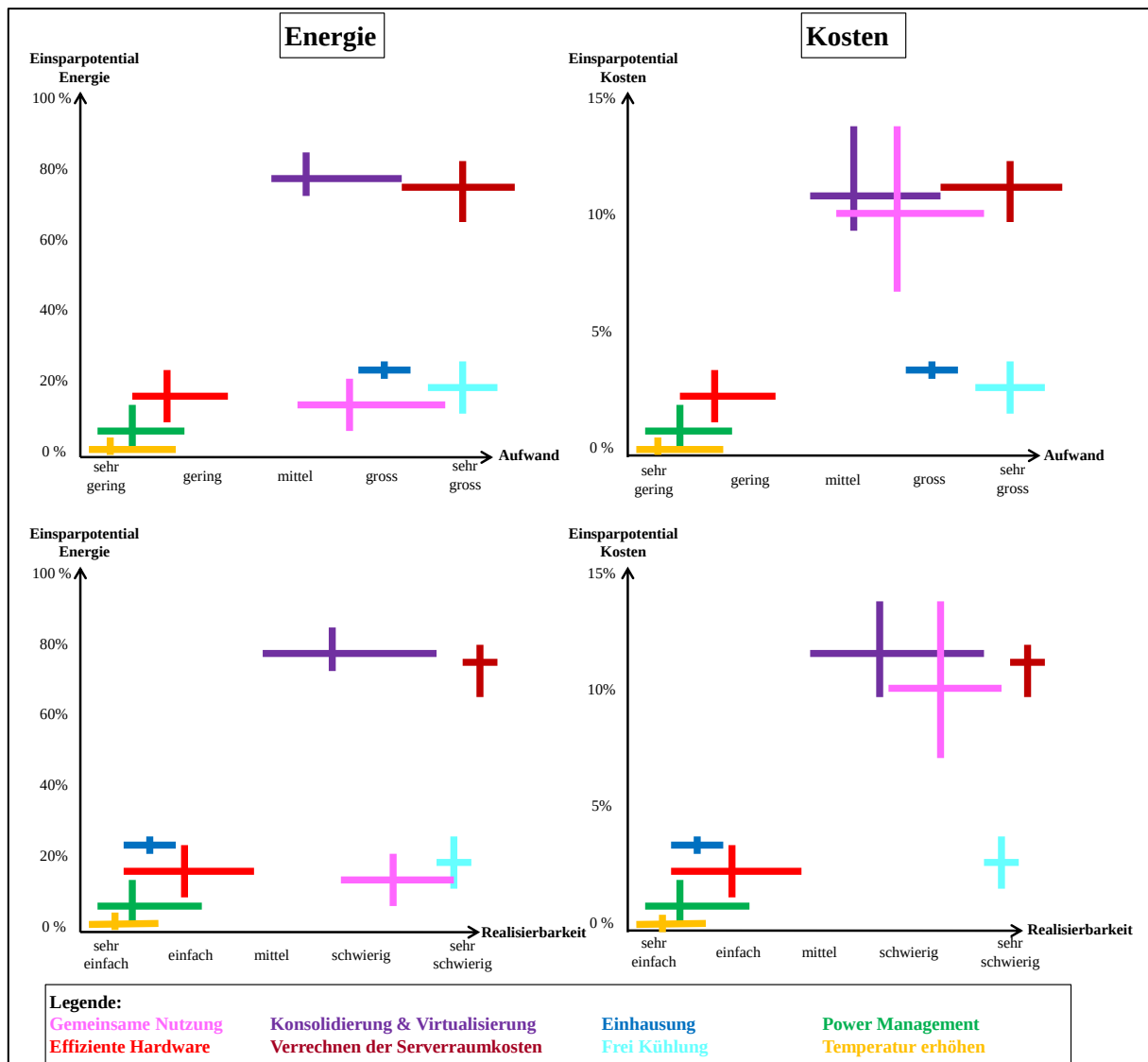


Abbildung 31: Sparpotential der Optimierungsansätze in Abhängigkeit von Aufwand resp. Realisierbarkeit

6.4.1 Freie Kühlung

Die notwendigen baulichen Massnahmen verursachen einerseits sehr hohe Kosten und andererseits ist es fraglich, ob sich der Luftkanal bis zum Serverraum wirklich realisieren lässt. Darum ist für bestehende Rechenzentren an der ETH Zürich von diesem Ansatz abzuraten. Für Neubauten sollte diese Option jedoch geprüft werden, da sich damit 20% der Energie einsparen lassen. Zudem können die baulichen Massnahmen bereits bei der Planung mit einbezogen werden, wodurch sich der Aufwand deutlich verringert.

6.4.2 Verrechnen der Serverraum-Kosten

Aufgrund der Schwierigkeit eine von allen Seiten akzeptierte Lösung zu finden und dem angenommenen Widerstand aus den Departementen ist von dieser Option vorerst abzuraten. Ausserdem könnte die Verrechnung der Serverraum-Kosten zu einem grossen administrativen Aufwand und zu einer Dezentralisierung der Server führen. Nach der Umsetzung der empfohlenen Massnahmen, kann die Verrechnung der Serverraum-Kosten jedoch durchaus eine Möglichkeit zur weiteren Optimierung sein.

6.4.3 Erhöhung der Temperaturtoleranzen

Obwohl eine Erhöhung der Temperaturtoleranzen nur geringe Einsparungen bringt, sollte diese Option dennoch umgesetzt werden, da keine zusätzlichen Investitionen notwendig sind und die Realisierbarkeit einfach ist.

6.4.4 Einhausung

Die Einhausung lässt sich relativ einfach umsetzen, ist aber teuer und zahlt sich erst ab dem 9. Jahr aus. Als renommierte Hochschule hat die ETH Zürich eine gewisse Vorbildfunktion und da mit einer Einhausung knapp ein Viertel der Energie eines RZ eingespart werden kann, ist diese Massnahme aus Imagegründen zu empfehlen. Weiter bietet sie den grossen Vorteil, dass die Kapazität eines Raumes stark erhöht werden kann, was besonders im Hinblick auf eine steigende Nachfrage nach Rechen- und Speicherleistung wichtig sein wird. Dieser Nutzen ist schwer zu quantifizieren, dürfte aber im Bereich von 15% bis 20% der jährlichen Kosten eines Rechenzentrums¹¹ liegen, wenn dadurch der Neubau eines RZ umgangen wird.

6.4.5 Effiziente Hardware beschaffen

Da sowohl Umsetzbarkeit wie auch Aufwand relativ gering sind, ist diese Massnahme zu empfehlen. Heute tragen die Departemente nur die Beschaffungskosten der Hardware, nicht aber die Stromkosten, weshalb die Energieeffizienz beim Kauf häufig vernachlässigt wird. Darum müssen die zuständigen Personen über die Energieeffizienz informiert und sensibilisiert werden.

6.4.6 Power Management

Das Power Management ist sowohl leicht umsetzbar als auch mit wenig Aufwand verbunden. Darum sollte diese Massnahme umgesetzt werden, auch wenn die Kosteneinsparungen relativ gering sind. Mit einer immer grösser werdenden Anzahl von Servern mit Power Management werden auch die Einsparungen nehmen zu. Für die Realisierung müssen die Server-Betreiber informiert und die Nutzung des Power Managements muss aktiv gefördert werden.

6.4.7 Gemeinsame Nutzung von Servern und Clustern

Auch wenn dieser Ansatz aus finanzieller, energetischer und anwendungsorientierter Sicht Sinn macht, dürfte sich die Umsetzung schwierig gestalten, da dies ein Eingriff in die Autonomie der Professuren darstellt. Trotzdem sollte versucht werden, die Betreiber von Clustern und Servern über diese Möglichkeit zu informieren und sie von den Vorteilen zu überzeugen.

6.4.8 Konsolidierung und Virtualisierung

Aufgrund des hohen Einsparpotentials und des moderaten Aufwandes sollte diese Massnahme unbedingt umgesetzt werden. Das Sparpotential wird nicht sofort ausgeschöpft werden können, denn neben viel Informations- und Sensibilisierungsarbeit wird, besonders bei der Konsolidierung, auch ein systematisches Vorgehen nötig sein, um die Einsparungen nach und nach zu realisieren. Für die Virtualisierung ist eine saubere und attraktive Lösung der Informatikdienste der ETH Zürich entscheidend. Nur wenn ein virtueller Server für den Nutzer einen grossen Anreiz hat und ihm einen Mehrwert bringt, wird es möglich sein den Wechsel zur Virtualisierung zu vollziehen. Darum soll das Verrechnungsmodell der ID laufend angepasst und optimiert werden.

¹¹ Kosten für Rauminfrastruktur, Instandhaltung und -setzung, Fläche, Sicherheit, Reinigung und Hauswartung.

6.4.9 Harmonisierung der Serverräume

Abschätzungen bezüglich Einsparpotential und Realisierbarkeit sind schwierig, weil diese Massnahme eher als Hilfe für andere Ansätze gedacht ist denn als eine eigenständige Option. Konsolidierung und Virtualisierung werden dadurch wesentlich vereinfacht, für eine Einhausung und ein allfälliges Outsourcing ist es Voraussetzung. Da der Zusatzaufwand relativ gering sein dürfte, sollte versucht werden, die Serverräume so weit wie möglich zu harmonisieren.

6.5 Vorschlag zur praktischen Umsetzung

Umzusetzen sind die Massnahmen Konsolidierung und Virtualisierung, Power Management, gemeinsame Nutzung, effiziente Hardware beschaffen, Temperaturtoleranzen erhöhen, Einhausung und Harmonisierung der Serverräume. Abbildung 32 gibt einen Überblick über den Vorschlag der praktischen Umsetzung. Für die Einhausung des HIT D13, CLA C5 und HCI C255 hat Herr Stutz, RZ-Manager der ETH Zürich, die Anträge bereits gestellt, derjenige fürs CAB D56 ist geplant. Somit sind zur Umsetzung dieser Massnahme keine Handlungsempfehlungen notwendig. Aus diesem Grund wird die Einhausung im Projektplan nicht aufgeführt.

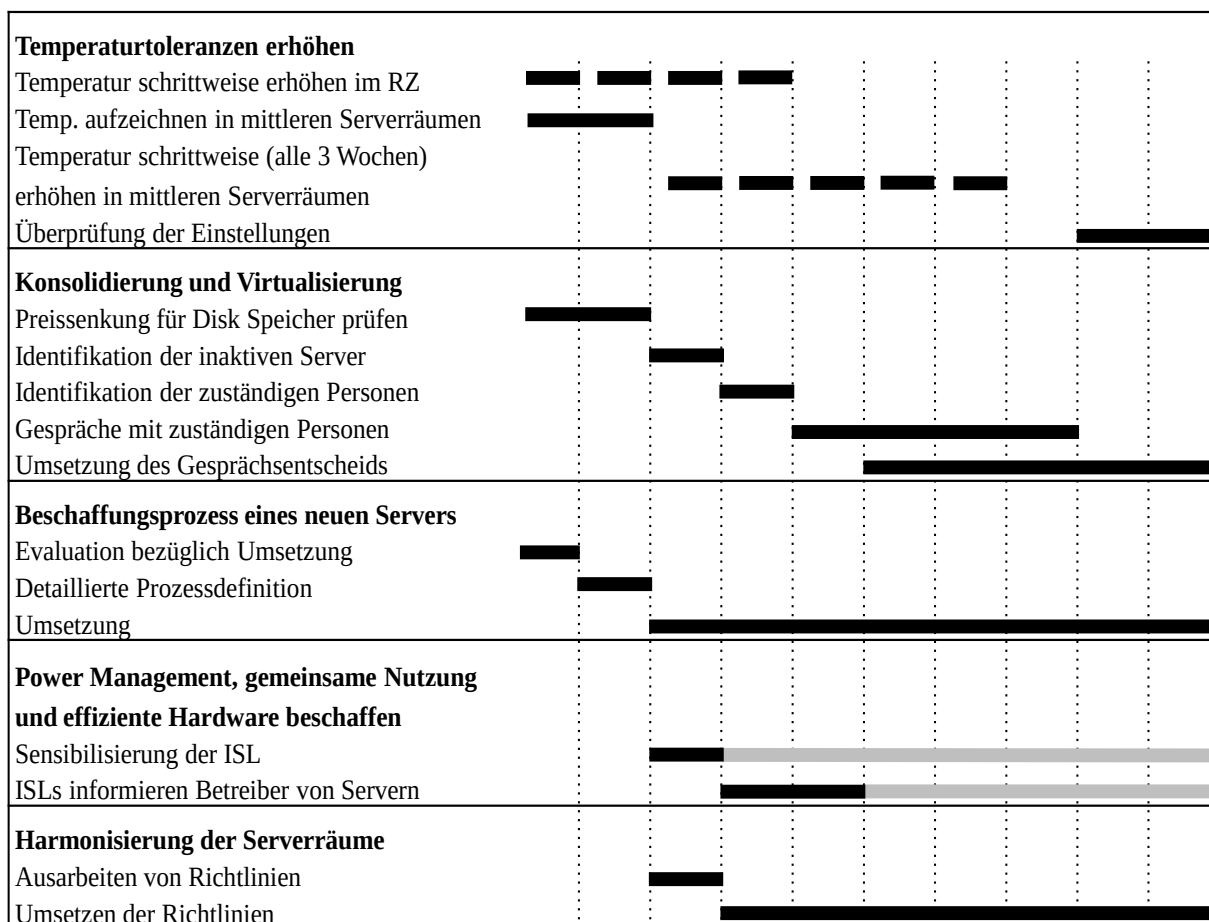


Abbildung 32: Projektplan zur Umsetzung der Optimierungsansätze

6.5.1 Erhöhung der Temperaturtoleranzen

Die Temperaturtoleranzen der Kühlgeräte in den Rechenzentren sollten schrittweise alle drei Wochen um 0.5°C angehoben werden, bis die Server signifikant mehr Warnmeldungen generieren. Ist dies der Fall, kann die Temperaturtoleranz einmalig wieder um 0.5°C reduziert werden und die Toleranzgrenze ist gefunden. Dieses Verfahren wurde gemäss Frau Gilly am CSCS in Manno

erfolgreich angewendet. Voraussetzung dafür ist, dass die Informatikdienste als RZ-Betreiber entweder selbst über Server verfügen, welche bei zu hohen Temperaturen Warnmeldungen generieren oder eng mit den Personen zusammenarbeiten, welche solche Server betreiben.

In den gekühlten mittleren Serverräumen sollte die Temperatur in einem ersten Schritt während mindestens einem Monat aufgezeichnet werden. Die Abteilung Betrieb verfügt über die entsprechenden Messgeräte. In einem zweiten Schritt kann auch in diesen Räumen die Temperatur schrittweise um 0.5°C erhöht werden.

In den Sommermonaten Juni oder Juli sollten die neuen Einstellungen erneut überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

6.5.2 Konsolidierung und Virtualisierung

Als erster Schritt ist eine Preissenkung der Speicherlösung bei den Informatikdiensten zu prüfen, um ihre virtuellen Server attraktiver zu machen. In einem weiteren Schritt sollte herausgefunden werden, welche Server aktiv sind und welche nicht. Dazu kann der Datenverkehr der vergangenen 90 Tage bei den Switches untersucht werden. Gemäss den Erfahrungen von Herrn Hirter, ISL am Departement Umweltwissenschaften, dürfte dieser Zeitraum genügend lang sein, um feststellen zu können, welche Server effektiv noch benötigt werden. Eine Liste mit dem Datenverkehr der Switches kann von der Abteilung Kommunikation relativ einfach generiert werden. Ist keine Aktivität des Servers festzustellen, muss die zuständige Person gefunden werden. Dies sollte anhand der bestehenden Datenbank für Serversubnetze kein Problem sein. Bei den telefonischen Abklärungen der Serverräume zeigte sich, dass die in der Datenbank eingetragenen Personen in der Regel problemlos die zuständige Person nennen können, wenn sie nicht selbst verantwortlich sind. Ist diese identifiziert, wird in einem Gespräch nach einer sinnvollen Lösung für den inaktiven Server gesucht. Hier zeichnen sich drei Alternativen ab: 1) Wird ein Dienst eines Servers nicht mehr benötigt, wird dieser abgestellt. 2) Wird der Dienst effektiv noch benötigt, bietet sich eine Virtualisierung an. Server, welche über einen längeren Zeitraum nicht aktiv sind, eignen sich sehr gut für die Virtualisierung, da sie kaum zusätzliche Energie benötigen, der Service aber trotzdem am Netz verfügbar bleibt. Ein Beispiel dafür sind Dienste, welche nur periodisch benötigt werden. 3) Wird eine Virtualisierung von den Betreibern dennoch kategorisch abgelehnt, sollte die Migration auf einen bestehenden Server geprüft und das Thema bei einer Neubeschaffung wieder aufgegriffen werden. Das Vorgehen entspricht in diesem Fall dem Beschaffungsprozess eines neuen Servers.

Beim Prozess der Konsolidierung und Virtualisierung ist die Teilnahme einer kompetenten Person für die Gespräche mit den Server-Betreibern wichtig. Sie muss die Vorteile der Virtualisierung klar aufzeigen und den Betreibern mit der neuen Lösung einen Mehrwert bieten können. Dazu ist ein entsprechend attraktives Angebot der Informatikdienste der ETH Zürich unumgänglich. Dass dadurch ein Grossteil der Server virtualisiert werden kann, zeigt das Beispiel des Departements Umweltwissenschaften. Beim Umzug in ein neues Gebäude hat es Herr Hirter, zuständiger ISL, in über 30 Fällen geschafft, die Betreiber von einem virtuellen Server zu überzeugen. Dadurch mussten keine neuen Geräte beschafft werden. Ein weiteres Beispiel ist die Stadt Zürich, bei der heute bereits 50% der Server virtualisiert sind mit dem Ziel, diesen Wert auf 80% zu steigern [53].

6.5.3 Beschaffungsprozess eines neuen Servers

Abbildung 33 veranschaulicht den vorgesehenen Beschaffungsprozess für IT Waren und Dienstleistungen an der ETH Zürich. Die persönliche Kommunikation mit den ISLs hat jedoch gezeigt, dass dieser Prozess nicht konsequent und vor allem nicht einheitlich umgesetzt wird. Während in

einigen Departementen Professorinnen und Professoren alleine über eine Neubeschaffung entscheiden, übernehmen dies in anderen Departementen Systemadministratoren, die ISLs zusammen mit den Betreibern der Server oder eine Informatikkommission.

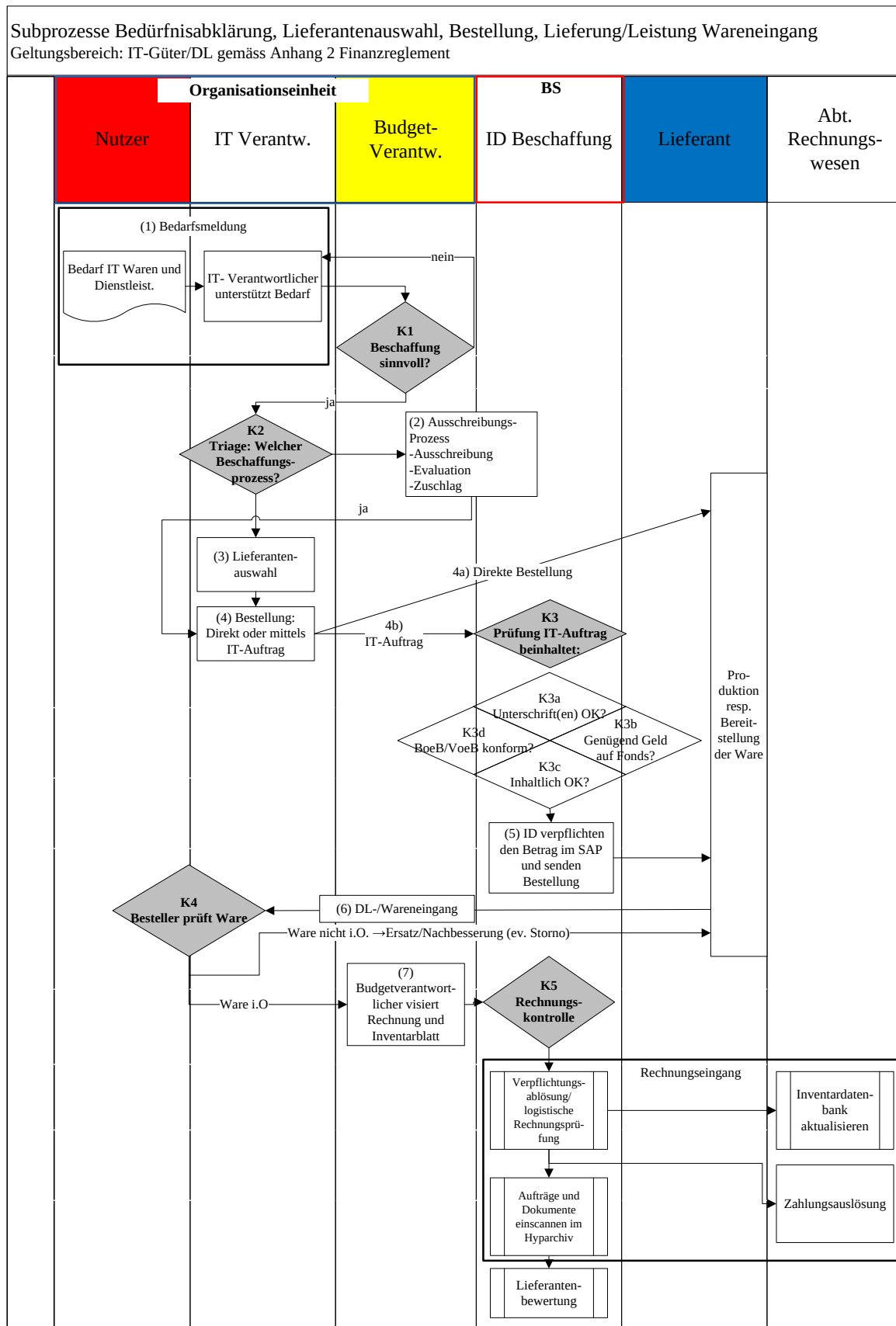


Abbildung 33: Vorgesehener Beschaffungsprozess für IT Waren und Dienstleistungen an der ETH Zürich

Am Departement Informatik existiert ein definierter Prozess mit einem „Consulting“-Schritt. Dabei klärt ein Mitarbeiter der ISG mit dem IT-Koordinator der beschaffenden Gruppe Details und gibt eine Empfehlung bezüglich Preis und Alternativen (inkl. virtuelle Server der ID) ab [54]. Ein ähnlicher Prozess ist für die ganze ETH Zürich erstrebenswert, wobei neben dem Preis vor allem die Virtualisierung, die gemeinsame Nutzung und effiziente Geräte in den Mittelpunkt gerückt werden sollten. Gemäss Herrn Godknecht, Leiter IT-Infrastruktur, wird an der Universität Zürich ein ähnlicher Prozess praktiziert. Vor einer Neubeschaffung muss der zentrale Informatikdienst kontaktiert werden, welcher nach einem Gespräch eine Empfehlung abgibt. Ziel dieses Ablaufs ist die gemeinsame Nutzung von Ressourcen, wobei jeder seinem Anteil entsprechend bezahlt.

Um einen ähnlichen Prozess an der ETH Zürich einführen zu können, ist in einem ersten Schritt zu klären, wie eine konkrete Umsetzung aussehen könnte, respektive inwieweit sich der im Folgenden vorgestellte Prozess realisieren lässt. Aufgrund des Untersuchungsergebnisses wird der Prozess in einem zweiten Schritt detailliert definiert und alle betroffenen Personen werden an einer ITEK Sitzung informiert. Letzter Schritt ist die Einführung und Umsetzung des Prozesses.

Abbildung 34 zeigt einen möglichen Beschaffungsprozess eines neuen Servers an der ETH Zürich. Die ursprüngliche Arbeit des IT-Verantwortlichen wird dabei von einer zentralen Stelle und den IT-Verantwortlichen zusammen übernommen. Erstere ist für strategische Aufgaben verantwortlich, während letztere für die operative Umsetzung zuständig sind. Durch die Zusammenarbeit werden die IT-Verantwortlichen entlastet und ihnen bleibt mehr Zeit für ihre Kernaufgaben.

Nachdem der Nutzer den Serverbedarf mit dem IT-Verantwortlichen abgesprochen hat, erfolgt die Prüfung durch den Budgetverantwortlichen, analog zum vorgesehenen Prozess. Bei einem positiven Entscheid muss, unabhängig vom Beschaffungsvolumen, mit einer zentralen Stelle Kontakt aufgenommen werden. Ohne deren Zustimmung ist eine Beschaffung mit ETH-Mitteln nicht möglich. Ein Experte der zentralen Stelle analysiert zusammen mit dem Nutzer seine Bedürfnisse und die momentane Situation. Gemeinsam wird entschieden, ob ein virtueller Server eingesetzt werden kann oder nicht. Für diese Entscheidung sollte der IT-Verantwortliche hinzugezogen werden, da er später für den Support zuständig ist. Ein virtueller Server kann entweder in einer departementsinternen Umgebung oder bei den ID realisiert werden. Dafür ist ein Antrag bei der entsprechenden Stelle zu stellen. Ist ein physischer Server notwendig, so wird in einem nächsten Schritt die gemeinsame Nutzung geprüft. Dabei spielt die zentrale Stelle eine entscheidende Rolle: Dadurch, dass sie immer in diesen Prozess einbezogen wird, sind die Situationen in den Departementen bekannt und eine gemeinsame Nutzung kann besser koordiniert werden. Auch für diesen Entscheid sollte der IT-Verantwortliche hinzugezogen werden. Ist die gemeinsame Nutzung eines bestehenden, wenig ausgelasteten Servers möglich, entfällt der Standortentscheid und die weiteren Schritte, denn der Server steht bereits am geeigneten Platz. Muss ein neuer physischer Server angeschafft werden, bleibt die Standort-Frage zu klären. Basierend auf den Ergebnissen der Bedürfnisanalyse und mit Hilfe des Entscheidungsdiagrammes in Abbildung 26 können Nutzer, IT-Verantwortlicher und zentrale Stelle zusammen mit dem RZ-Manager den geeigneten Standort definieren. Danach ist der Ablauf dem vorgesehenen Prozess ähnlich: Je nach Beschaffungsvolumen und der Existenz von Rahmenverträgen findet eine Ausschreibung oder eine direkte Lieferantenwahl statt. Ähnlich wie im vorgesehenen Prozess übernehmen der Budgetverantwortliche und die ID Beschaffung die Ausschreibung, wobei sie durch die zentrale Stelle unterstützt werden. Nach der Evaluation der verschiedenen Offerten gibt die zentrale Stelle eine Empfehlung ab. Entfällt die Ausschreibung, kann die zentrale Stelle die Empfehlung direkt abgeben. Besonders in diesem Fall zählt sich ihre Erfahrung aus: Aufgrund bestehender Server-Evaluationen und ver-

gangener Beschaffungen erfolgt die Empfehlung schnell und kompetent. Dabei sind energieeffiziente Geräte und effiziente Netzteile zu fördern. Anschliessend wird gemeinsam ein Lieferant ausgewählt. Im Falle eines IT-Auftrages (4b) und eines virtuellen Servers folgt dessen Prüfung. Ab diesem Schritt entspricht das weitere Vorgehen demjenigen des vorgesehenen Prozesses.

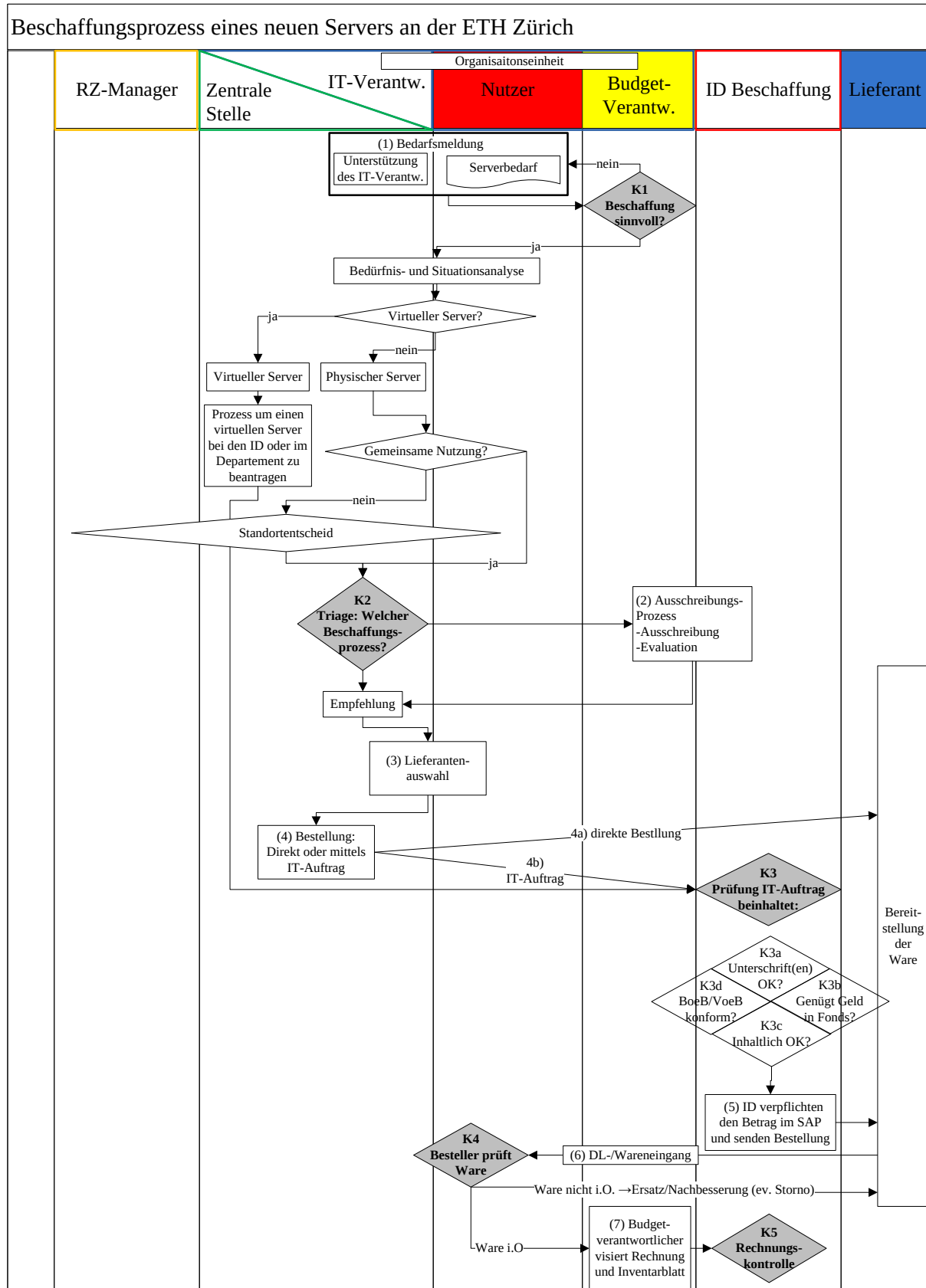


Abbildung 34: Möglicher Beschaffungsprozess für einen neuen Server an der ETH Zürich

Die Erfahrungen des Departements Umweltwissenschaften beweisen eindrücklich, dass bei Neubeschaffungen ein Grossteil der Server virtualisiert werden kann. Gemäss den Angaben des zuständigen ISLs, Herrn Hirter, konnten am Departement Umweltwissenschaften über 30 Server auf nur drei physischen Servern virtualisiert werden. Dadurch lassen sich etwa 60% der Kosten und 85% der Energie einsparen.

Beim Konsolidierungsprozess ist eine zentrale Stelle notwendig, welche zusammen mit den Informatikdiensten der ETH Zürich eine Preissenkung des Disk-Speichers prüft und ein attraktives Angebot ausarbeitet. Zudem kann die zentrale Stelle im Falle von inaktiven Servern zusammen mit den Betreibern nach einer besseren Lösung suchen. Beim Beschaffungsprozess eines neuen Servers müssen die Gruppen, welche den neuen Server beschaffen möchten, beraten werden. Ausserdem muss der Server bestellt und ein geeigneter Standort gefunden werden. Dadurch bietet sich die Schaffung einer zentralen Stelle an. Die Beschaffung effizienter Hardware und eine gemeinsame Nutzung liesse sich dadurch gut in die Empfehlung beim Beschaffungsprozess eines neuen Servers integrieren. Zudem können Synergien dank Erfahrungen aus vergangenen Beschaffungen der zentralen Stelle und dank der Kooperation mit allen Departementen besser genutzt werden. Des Weiteren könnte die zentrale Stelle Richtlinien für Server im RZ ausarbeiten. Mit der ITEK Sitzung hat sie die Möglichkeit, die IT-Verantwortlichen laufend zu informieren und eng mit ihnen zusammen zu arbeiten. Die Besetzung einer zentralen Stelle mit einer oder zwei zusätzlichen Personen lässt sich durchaus rechtfertigen, wenn man bedenkt, dass die Kosten aller Serverräume der ETH Zürich ohne das CSCS rund 27 Mio. CHF pro Jahr betragen und mit Konsolidierung und Virtualisierung alleine etwa 10% eingespart würden. Die zentrale Stelle könnte also problemlos aus den Einsparungen finanziert werden. Denkbar wäre, dass das IT-Portfoliomanagement diese Aufgaben übernimmt. Eine zweite Option wäre, dass eine Expertengruppe, bestehend aus ISLs, Mitarbeitern der ID, Professorinnen oder Professoren und allenfalls weiteren Personen, diese Rolle übernimmt. Alternative drei wäre, dass diese Prozesse in jedem Departement einzeln umgesetzt würden und die Aufgaben der zentralen Stelle, wie im vorgesehenen Prozess, nur vom IT-Verantwortlichen der Organisationseinheit übernommen würden. Grosser Nachteil der Varianten zwei und drei ist, dass die Expertengruppe, resp. die IT-Verantwortlichen, nicht auf die Beschaffung spezialisiert sind, sondern diese Aufgabe zusätzlich zu ihrer Arbeit erhalten. Durch die zusätzliche Belastung kann nicht gewährleistet werden, dass der Prozess und dessen Ziele konsequent umgesetzt werden. Ausserdem lassen sich bei der dritten Alternative Synergien (gemeinsame Nutzung, gemeinsame Virtualisierung) über Departementsgrenzen hinaus schlechter nutzen und koordinieren. Bei der Schaffung einer zentralen Stelle hingegen würde niemand zusätzliche Arbeit erhalten und dank den Einsparungen würden keine zusätzlichen Kosten anfallen. Die IT-Verantwortlichen würden sogar entlastet und hätten mehr Zeit für andere Aufgaben.

6.5.4 Power Management, gemeinsame Nutzung und effiziente Hardware beschaffen

Damit die drei Ansätze Power Management, gemeinsame Nutzung und Beschaffung effizienter Hardware realisiert werden können, müssen die Betreiber informiert und die Massnahmen aktiv gefördert werden. Idealerweise arbeitet die zentrale Stelle entsprechende Richtlinien aus, wobei die gemeinsame Nutzung und die Beschaffung effizienter Hardware gut in die Empfehlung für einen neuen Server (gemäss Beschaffungsprozess eines neuen Servers) integriert werden können. Die Nutzung des Power Managements sollte von den IT-Verantwortlichen direkt gefördert werden, wozu sie die Betreiber der Server sensibilisieren sollten.

Falls sich bei der Evaluation zur Umsetzung des Beschaffungsprozess eines neuen Servers herausstellt, dass eine zentrale Stelle nicht geschaffen werden kann, ist alternativ eine Expertengruppe zur Förderung dieser drei Massnahmen denkbar. Um einen fortlaufenden Prozess sicherzustellen, sollten diese Themen sinnvollerweise etwa einmal pro Quartal an einer ITEK Sitzung oder in Form eines Vortrags besprochen werden. Die Organisation dieser Präsentationen, zu denen auch alle Server-Betreiber eingeladen werden könnten, würde die zentrale Stelle, respektive die Expertengruppe übernehmen, während die effektive Umsetzung der Massnahmen von den IT-Verantwortlichen übernommen würde. Zur Förderung des Power Managements wäre beispielsweise die Präsentation von Studien hilfreich, welche einerseits die Einsparungen aufzeigen und andererseits belegen, dass keine Leistungseinbussen zu verzeichnen sind.

6.5.5 Harmonisierung der Serverräume

Zusammen mit dem RZ-Manager sollte eine Expertengruppe Richtlinien für Server in einem Rechenzentrum ausarbeiten. Idealerweise kann dies von der zentralen Stelle übernommen werden. Somit würden automatisch nur Empfehlungen für Server abgegeben, welche diesen Richtlinien entsprechen. Kann die zentrale Stelle nicht geschaffen werden, wäre auch hier eine Expertengruppe bestehend aus einigen ISLs denkbar. Eine mögliche Richtlinie bezüglich Harmonisierung der Rechenzentren wäre beispielsweise, dass die Server in Zukunft „rackkonform“ sein müssen. Dies ist insbesondere im Hinblick auf mehrere Räume mit einer Einhausung der Serverracks sowie einem Anstieg der Rechenleistungs- und Speichernachfrage wichtig. Diese Richtlinien sollten mindestens einmal pro Jahr überprüft und wenn nötig angepasst werden.

7 Diskussion

7.1 Fazit

An der ETH Zürich existieren verschiedenste Serverräume. Die Klasse mit den meisten Hilfskomponenten bilden die Rechenzentren. Dadurch verbrauchen sie mit Abstand am meisten Strom, obwohl ihre Anzahl – mit lediglich 11 Räumen – verhältnismässig gering ist. Mit einem mittleren PUE von 1.94 liegen sie etwa im branchenweiten Durchschnitt, wahrscheinlich sogar etwas darunter. Mittlere Serverräume weisen in der Regel nur eine Kühlung als Hilfskomponente auf. Dadurch ist ihre Energieeffizienz etwas besser als diejenige der RZ der ETH Zürich. Büroserver bilden mit dem bestmöglichen Wert von 1.0 die effizienteste Raumklasse. Dies wird durch das Fehlen jeglicher Hilfskomponenten ermöglicht, was sich jedoch negativ auf die Betriebssicherheit auswirkt. Bezüglich Kosten machen die Rechenzentren ebenfalls den grössten Anteil aus, wobei dies vorwiegend auf die höheren IT-Hardwarekosten dieser Raumklassen zurückzuführen ist. Die Amortisation der IT-Hardware macht bei allen Raumklassen zwischen 50% und rund 70% aus. Die weiteren wesentlichen Kostenfaktoren sind Energie und Amortisation der Rauminfrastruktur. Gesamthaft belaufen sich die Kosten der Serverräume ohne das Hochleistungs-Rechenzentrum CSCS auf rund 27 Mio. CHF pro Jahr. Zur Senkung dieser Kosten gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die wirkungsvollste ist Konsolidierung und Virtualisierung, weil dabei sowohl Hardware- als auch Energiekosten reduziert werden. Zur Realisierung dieser Massnahmen bietet sich die Schaffung einer zentralen Stelle an. Diese könnte beispielsweise ins IT-Portfoliomanagement integriert werden und strategische Aufgaben übernehmen, während die IT-Verantwortlichen einer Organisationseinheit für die operative Umsetzung zuständig bleiben. Beim Konsolidierungsprozess ist die zentrale Stelle im Falle eines inaktiven Servers dafür zuständig zusammen mit den Betreibern nach einer besseren Lösung zu suchen. Zudem kann die zentrale Stelle zusammen mit den ID der ETH Zürich ein attraktives Angebot von virtuellen Servern ausarbeiten. Beim Beschaffungsprozess eines neuen Servers kann sie zusammen mit dem Nutzer und dem IT-Verantwortlichen die Möglichkeiten der Virtualisierung und der gemeinsamen Nutzung diskutieren. Kommen beide Möglichkeiten nicht in Frage, muss ein neuer Server angeschafft werden. Dabei kann die zentrale Stelle aufgrund ihrer Erfahrungen aus vergangenen Beschaffungen und ihren bestehenden Server-Evaluationen schnell und kompetent eine Empfehlung abgeben. Des Weiteren kann sie zusammen mit dem RZ-Manager Standards für Server in Rechenzentren definieren. Die damit verbundene Harmonisierung der Serverräume ist im Hinblick auf eine erhöhte Nachfrage nach Rechenleistung und Speicherplatz, insbesondere aber für ein allfälliges Outsourcing wichtig.

7.2 Einschränkungen

Diese Arbeit stellt eine erste Untersuchung im Bereich Serverräume an der ETH Zürich dar. Somit sind ein Grossteil der Angaben begründete Abschätzungen oder Hochrechnungen und dürfen nicht als endgültige Werte betrachtet werden. Dies gilt insbesondere für die Kosten der Räume und ihre jeweilige Struktur sowie für die Levels der Betriebssicherheit. Diese wurden aufgrund von Unterlagen und Gesprächen definiert, um dem Leser einen wesentlichen Grund für die unterschiedlichen Kosten der Raumklassen aufzuzeigen. Die schematische, etwas „schwarz-weiße“ Einteilung der Betriebssicherheits-Levels ist in der Praxis längst nicht immer gegeben, wie das Hochleistungs-RZ veranschaulicht.

7.3 Weitere Massnahmen

Im Rahmen dieser Arbeit war eine Beleuchtung sämtlicher Massnahmen zur Kostenreduktion und zur Steigerung der Energieeffizienz nicht möglich. Einige weitere Optionen werden nun kurz aufgeführt.

Nach der Umsetzung der empfohlenen Ansätze kann die Verrechnung der Serverraumkosten genauer beleuchtet werden. Gelingt es eine von allen Beteiligten akzeptierte Lösung zu finden, so kann dies zu einer weiteren Konsolidierung der bestehenden Infrastruktur führen.

Mit einer kontinuierlichen Strommessung könnte der aktuelle PUE exakt bestimmt, die Einsparung von umgesetzten Massnahmen genau beziffert und dank des „Monitorings“ auch verfolgt werden. Dies könnte nicht zuletzt als Werbung in eigener Sache genutzt werden, um die ETH Zürich nicht nur als eine der weltbesten, sondern auch als eine umweltbewusste Hochschule zu präsentieren. Zudem wäre eine kontinuierliche Aufzeichnung der Feuchtigkeit sinnvoll, denn ein häufig auftretendes Problem ist gemäss Frau Gilly, dass eine Anlage befeuchtet, während die nächste entfeuchtet. Dadurch wird sinnlos Energie verschwendet. Demzufolge liegt die Vermutung nahe, dass auch in diesem Bereich noch Einsparpotential vorhanden ist.

Analog zu den Servern bieten auch Desktop-Computer die Möglichkeit der Virtualisierung. Bei 9'000 Computern an der ETH Zürich lassen sich damit nach einer ersten Abschätzung jährlich 1.3GWh Strom oder knapp 130'000 CHF an Energiekosten einsparen (vgl. Anhang 3.9, [55]).

Eine weitere Möglichkeit zur Kostenreduktion sind die Kommunikationsräume. Insbesondere die kleinen Kommunikationsräume bieten aufgrund ihrer grossen Anzahl noch Einsparmöglichkeiten. Hierbei ist der Zusammenschluss mehrerer Kommunikationsräume zu prüfen. Denkbar wären beispielsweise nur noch zwei oder drei Kommunikationsräume pro Gebäude.

7.4 Weiterführende Arbeiten

Diese Arbeit brachte viele Resultate und Erkenntnisse, ist aber dennoch als Basis und nicht als abschliessende Analyse zu betrachten. Sinnvollerweise werden weitere Abklärungen und Arbeiten folgen. An erster Stelle ist die Schaffung der zentralen Stelle zu nennen. Möglichst bald ist zu klären, ob und in welcher Form sie realisiert werden kann. Im Optimalfall wird der Konsolidierungsprozess von ihr geleitet. Ist dies nicht möglich, sollte dennoch mit der Konsolidierung und falls möglich mit der Virtualisierung der bestehenden Infrastruktur begonnen werden. Nur so kann, zusammen mit Richtlinien für Server in Rechenzentren, der Serverbestand harmonisiert werden. Standardisierung und Virtualisierung sind gemäss Lorenz Wolf, Solution Specialist Datacenter von Microsoft, Voraussetzungen für „Cloud Computing“. Es ist davon auszugehen, dass sich dieser Bereich in Zukunft schnell entwickeln und an Attraktivität gewinnen wird. Seitens der ETH Zürich ist auch in Zukunft mit einer steigenden Nachfrage an Speicher- und Rechenleistung zu rechnen. Somit stellt sich einerseits die Frage, ob die ETH Zürich die geforderte Kapazität selbst noch zur Verfügung stellen kann und andererseits ob eine „Cloud“-Lösung finanziell nicht attraktiver wäre. Mit einer weiteren Arbeit könnte dies für die gesamte IT-Infrastruktur der ETH Zürich beurteilt werden.

Ausserdem birgt der zentrale Einkauf sämtlicher IT-Geräte höchst wahrscheinlich weiteres Sparpotential. Für eine möglichst genaue Abschätzung müssen alle IT-Geräte¹² mit ihren Schnittstellen analysiert werden. Dies könnte ebenfalls Gegenstand einer weiteren Untersuchung sein.

¹² Desktop-Computer, Laptops, Server, Cluster etc.

8 Glossar

Cluster	Vernetzung mehrerer Computer durch ein schnelles Netzwerk. Der Nutzer nimmt die vernetzten Computer als „einen grossen Computer“ wahr.
Disk-Speicher	Möglichkeit zur Speicherung von Computer-Daten.
Einhausung	Überdachung und Wände bilden ein „Haus“ für die Serverracks in einem Raum. Damit kann die kalte Ansaugluft für die Server von der warmen Abluft getrennt werden.
Hardware	Mechanische und elektronische Komponenten eines Computers, resp. eines Servers, also dessen „Bausteine“.
Netzteil	Gerät zur Stromversorgung eines anderen Gerätes (Server).
Print-Server	Server, welcher die Druckaufträge an den Drucker weiterleitet.
Rack	„Gestell“ zum parallelen Einschub der Server übereinander, wodurch eine sehr dichte Anordnung der Server ermöglicht wird.
Rack-Server	Server, welcher in einem Rack ist.
State-of-the-art	Neuster Entwicklungsstand.
Storage	Speicherlösung.
Tape-Roboter	Grosse Speicherlösung, bei welcher ein Roboter die verschiedenen Speicherbänder in die vorgesehenen Slots einfügt, wenn diese benötigt werden.
User	Nutzer, Anwender.

9 Literaturverzeichnis

1. Nutt, A. *History of the Data Centre*. 10.09.2008 [abgerufen am 17.08.2012]; von: <http://www.articlesbase.com/technology-articles/history-of-the-data-centre-556616.html>.
2. Aebischer, B., et al., *Energy- and Eco-Efficiency of Data Centers*, Kanton Genf, Editor. 2003: Genf. S. 1-86.
3. Sohbat, A., *Microsoft Virtualization Summit: Building a Foundation for your Private Cloud*. 2010, Microsoft: London.
4. Sheehan, M. und S. Smith, *Powering Down: Green IT in Higher Education*. 2010.
5. Betschon, S., *Der Supercomputer im Zuckerwürfel*, in *Neue Züricher Zeitung*. 2010: Zürich. S. 66.
6. Weber, M., *Cloud Computing - Evolution in der Technik, Revolution im Business*. 2009, BITKOM: Berlin. S. 1-84.
7. Loper, J. und S. Parr, *Energy efficiency in data centers: A new policy frontier*. Environmental Quality Management, 2007. **16**(4): S. 83-97.
8. Competence Center "Energy and Information Technology". 30.06.2006 [abgerufen am 04.08.2010]; von: <http://www.cepe.ch/research/projects/compcentre/compcentre.htm>.
9. Stokar, T.V., et al., *IKT und nachhaltige Entwicklung in der Schweiz*. 2009, Bundesamt für Kommunikation (BAKOM) und Bundesamt für Raumentwicklung (ARE): Bern. S. 1-100.
10. *IKT-Strombedarf liegt in Deutschland bei über zehn Prozent*. 03.07.2009 [abgerufen am 04.08.2010]; von: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Presse/pressemitteilungen,did=305664.html>.
11. *Gartner Estimates ICT Industry Accounts for 2 Percent of Global CO2 Emissions*. 26.04.2007 [abgerufen am 04.08.2010]; von: <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=503867>.
12. *Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2008*, BFE, Editor. 2008, Bundesamt für Energie BFE: Bern. S. 1-52.
13. *Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2009*, BFE, Editor. 2009, Bundesamt für Energie BFE: Bern. S. 1-52.
14. *Energie in Deutschland*, BMWi, Editor. 2009, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): Berlin. S. 1-60.
15. Fiechter, K., et al., *Energieeffiziente Rechenzentern Best-Practise-Beispiele aus Europa, USA und Asien*, BMU, Editor. 2008, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Berlin. S. 1-40.
16. ETH-Hochschulkommunikation. *ETH Zürich*. 26.07.2010 [abgerufen am 29.07. 2010]; von: <http://www.ethz.ch/about/index>.
17. ETH-Hochschulkommunikation. *Organisation der ETH Zürich*. 04.11.2008 [abgerufen am 07.06.2010]; von: <http://www.ethz.ch/about/organisation>.
18. ETH-Hochschulkommunikation. *Auftrag und Organisation der Informatikdienste*. 03.05.2010 [abgerufen am 07.06.2010]; von: <https://www1.ethz.ch/id/about>.
19. Seifert, W., *Energieverbrauch 2009 der ETH Zürich*. 2010, ETH Zürich, SGU: Zürich. S. 1-4.
20. *Umweltdeklaration 2008 ewz naturpower*. 2008, Elektrizitätswerk der Stadt Zürich: Zürich S. 1-2.

21. *Greenbook*. 2008, IBM: Zürich. S. 1-30.
22. Huser, A. und M. Bänninger, *Stromeffiziente Rechenzentren durch Sensibilisierung über eine transparente Kostenrechnung*, BFE, Editor. 2008, Bundesamt für Energie BFE: Bern. S. 1-22.
23. Behrendt, F., et al., *Konzeptstudie zur Energie- und Ressourceneffizienz im Betrieb von Rechenzentren*. 2008: S. 1-159.
24. *Energy Logic: Reduzierung des Energieverbrauchs im Rechenzentrum durch die Realisierung von Einsparungen über eine Vielzahl von Systemen hinweg*. 2008, Knürr AG. S. 1-23.
25. Belady, C., *Green Grid Data Center Power Efficiency Metrics: PUE and DCIE*, C. Belady, Editor. 2008, The Green Grid. S. 1-9.
26. *Data Center Efficiency Measurements*. 2010 [abgerufen am 25.07.2010]; von: <http://www.google.com/corporate/green/datacenters/measuring.html>.
27. *Energy Measurement Survey Results Analysis*. 2009, The Green Grid. S. 1-13.
28. Greenberg, S., et al. *Best Practices for Data Centers: Lessons Learned from Benchmarking 22 Data Centers*. in *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*. 2006. Asilomar, California.
29. EPA, *Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency*. 2007, US Environmental Protection Agency. S. 1-130.
30. Schächli, B., et al., *Energy efficient servers in Europe*. 2007, The Efficient Servers Consortium November 2007. S. 1-22.
31. Turner, P., et al., *Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance*. 2008, Uptime Institute. S. 1-19.
32. Staub, P., et al., *ETH Zürich Areal Zentrum und Hönningerberg Rechenzentren-Strategie ETHZ*. 2009, ETH Zürich, Abteilung Bauten: Zürich.
33. Thommen, J.-P., *Kapitel 3: Betriebsbuchhaltung*, in *Managementorientierte Betriebswirtschaftslehre*. 2000, Versus: Zürich. S. 373-390.
34. Patterson, M.K., et al., *Data center TCO; a comparison of high-density and low-density spaces*, in *THERMES 2007*. 2007, Intel: Santa Fe, NM. S. 1-11.
35. Aebischer, B., *Green IT und Rechenzentren*. 2010, CEPE/ETH Zürich: Rüschlikon. S. 1-35.
36. *Proxy Proposals for Measuring Data Center Productivity*. 2009, The Green Grid. S. 1-29.
37. LBNL. *Benchmarking: Data Centers - Charts*. [abgerufen am 06.08.2010]; von: <http://hightech.lbl.gov/benchmarking-dc-charts.html>.
38. *Jahresbericht ETH Zürich*. 2009, ETH Zürich: Zürich. S. 1-81.
39. *Globalbudget CSCS: Betriebskosten & Investitionskosten CSCS 2012-2016*. 2010.
40. Hintemann, R., S. Pfahl, und C. Fassnacht, *Energieeffizienz im Rechenzentrum 2008*, BITKOM: Berlin. S. 1-42.
41. *Cisco Energy Efficient Data Center Solutions and Best Practices*. 2007, Cisco. S. 1-17.
42. Josefberg, A., et al., *Microsoft's Top 10 Business Practices for Environmentally Sustainable Data Centers*. 2009, Microsoft. S. 1-10.

43. *Host Europe im Interview – Colocation und Managed Hosting für den Mittelstand.* 01.08.2010 [abgerufen am 14.09.2010]; von: <http://servermaniac.de/231287-host-europe-im-interview-colocation-und-managed-hosting-fur-den-mittelstand/>.
44. *Kaltgang-Einhausung im RZ*, Knürr: Arnstorf. S. 1-6.
45. Hotz, K., *Mit wenig Aufwand viel gespart*, in *Schaffhauser Nachrichten*. 2008: Schaffhausen.
46. *Power and Cooling in the Data Center*. 2005, AMD. S. 1-8.
47. Ross, A. und B. Stoddard, *Data Center Energy Efficiency with Intel Power Management Technologies*. 2010, Intel.
48. ASHRAE, *2008 ASHRAE Environmental Guidelines for Datacom Equipment*. 2008.
49. BFE, *Risikofreier Betrieb von klimatisierten EDV-Räumen bei 26°C Raumtemperatur*. 1995, Bundesamt für Energiewirtschaft.
50. Altenburger, A., *BFE Programm Elektrizität: Energieeffizientes Kühlen von IT-Räumen*. 2004, Bundesamt für Energie. S. 1- 32.
51. Kordowske, H. und P. Koch, *Energie-effiziente Infrastrukturen für das Rechenzentrum*. 2007, Fujitsu Simens Computers und Knürr. S. 1-16.
52. ETH-Hochschulkommunikation. *Zentraler HPC Cluster Brutus*. 30.05.2010 [abgerufen am 09.2010]; von: https://www1.ethz.ch/id/services/list/comp_zentral/cluster.
53. *Wir arbeiten am Puls der Stadt*, OIZ Stadt Zürich, Editor. 2010, Stadt Zürich, Organisation und Informatik (OIZ): Zürich. S. 1-19.
54. ISGINF, *IT purchase with ITS order form*. 2010, ISGINF.
55. Fazel, K. und B. Hippler, *Thin Clients versus Desktop-Computer – wer spart mehr Strom?* 2010: Berlin. S. 1-23.

10 Interview- und Besprechungsverzeichnis

10.1 Interviews

Name	Funktion	Kontaktdaten	Datum	Zeit	Ort	Thema
Markus Traber	ISL D-CHAB	Tel: +41 44 632 09 20 E-Mail: markus.traber@phys.chem.ethz.ch	07.06.2010	08:30 - 09:45	HCI F233, Zürich	Serverräume am D-CHAB
Elmar Heeb	ISL D-PHYS	Tel: +41 44 633 25 91 E-Mail: heeb@phys.ethz.ch	07.06.2010	10:00 - 11:15	HPT D15, Zürich	Serverräume am D-PHYS
Hanspeter Scherbel	ISL D-MATH	Tel: +41 44 632 22 47 E-Mail: scherbel@math.ethz.ch	07.06.2010	12:00 - 13:15	HG G34.3, Zürich	Serverräume am D-MATH
Andres Müller	ISL D-MTEC	Tel: +41 44 632 03 55 E-Mail: andresmueller@ethz.ch	07.06.2010	14:00 - 15:00	HG FO38.3, Zürich	Serverräume am D-MTEC
Philippe Blaise Andreas Burger	ISL D-AGRL	Tel: +41 44 632 38 55 E-Mail: philippe.blaise@agrl.ethz.ch Tel: +41 44 632 68 54 E-Mail: andreas.burger@agrl.ethz.ch	07.06.2010	15:45 - 17:00	LFV E31.1, Zürich	Serverräume am D-AGRL
Marc Roland Petitmermet	ISL D-MATL	Tel: +41 44 633 61 06 E-Mail: petitmermet@mat.ethz.ch	08.06.2010	13:00 - 14:00	HCI E484.2, Zürich	Serverräume am D-MATL
Xaver Studerus	ISL D-BAUG	Tel: +41 44 633 30 69 E-Mail: mailto:studerus@baug.ethz.ch	08.06.2010	14:45 - 15:30	HIL E 24.3, Zürich	Serverräume am D-BAUG
Serge Bilgeri	ISL D-ARCH	Tel: +41 44 633 37 22 E-Mail: bilgeri@arch.ethz.ch	08.06.2010	15:45 - 17:00	HIL C40.2, Zürich	Serverräume am D-ARCH
Hans Hirter	ISL D-UWIS	Tel: +41 44 633 37 24 E-Mail: hans.hirter@env.ethz.ch	11.06.2010	10:30 - 12:00	CHN H44, Zürich	Serverräume am D-UWIS
Luca Previtali	ISL D-INFK	Tel: +41 44 632 73 45 E-Mail: previtali@inf.ethz.ch	11.06.2010	13:30 - 15:00	CAB E48 , Zürich	Serverräume am D-INFK
Janos Palinkas	ISL D-BSSE	Tel: +41 61 387 31 28 E-Mail: janos.palinkas@bsse.ethz.ch	14.06.2010	10:00 - 15:00	Mattenstr. 26, Basel	Serverräume am D-BSSE
Anatoliy Holinger Nicolas Graf	ISL D-BIOL	Tel: +41 44 632 35 45 E-Mail: anatoliy.holinger@id.ethz.ch Tel: +41 44 632 30 17 E-Mail: nicolas.graf@biol.ethz.ch	15.06.2010	08:30 - 10:30	HIT F41.5, HIT WOKA, Zürich	Serverräume am D-BIOL
Anton Schultschik Edwin Thaler Philipp Snizek	ISL D-ITET	Tel: +41 44 632 52 41 E-Mail: aschults@ee.ethz.ch Tel: +41 44 632 27 18 E-Mail: thaler@ee.ethz.ch Tel: +41 44 632 73 66 E-Mail: psnizek@ethz.ch	17.06.2010	10:00 - 11:45	ETL F26, Zürich	Serverräume am D-ITET

Thomas Löffler	ISL D-ERDW	Tel: +41 44 632 56 96 E-Mail: jl@erdw.ethz.ch	17.06.2010	15:15 - 16:15	NO G68.1, Zürich	Serverräume am D-ERDW
Benjamin Baum	ISL D-GESS	Tel: +41 44 632 04 26 E-Mail: benjamin.baum@id.ethz.ch	22.06.2010	08:30 - 09:45	STC E22, Zürich	Serverräume am D-GESS
Sascha Jovanovic	ISL D-MAVT	Tel: +41 44 632 03 69 E-Mail: jovanovic@mavt.ethz.ch	24.06.2010	14:15 - 15:30	ML F49.2, Zürich	Serverräume am D-MAVT

10.2 Besprechungen

Name	Funktion	Kontaktdaten	Datum	Zeit	Ort	Thema
Ladina Gilly	Associate Director Business Services CSCS	Tel: +41 91 610 82 67 E-Mail: lgilly@cscs.ch	11.05.2010	10:30 – 14:00	Galleria 2 – Via Cantonale, Manno	Hochleistungsrechenzent- rum CSCS in Manno und geplanter Neubau LCA
Heinz Ursprung	Direktor ICT Unispital Zürich	Tel: +41 44 255 88 93 E-Mail: heinz.ursprung@usz.ch	16.07.2010	08:00 – 10:00	Physikstrasse 6, Zürich	Serverräume am Universi- tätsspital Zürich
Bernard Aebischer	Forscher am Center for Energy Policy & Economics	Tel: +41 44 632 41 95 E-Mail: baebischer@ethz.ch	16.07.2010	15:00 – 16:30	Zürichbergstr. 18, Zürich	Serverräume an der ETH Zürich
Alexander Godknecht	Head IT-Infrastructure Universität Zürich	Tel: +41 44 635 45 31 E-Mail: alexander.godknecht@id.uzh.ch	28.07.2010	14:30 – 16:00	Winterthurerstr. 190, Zürich	Serverräume an der Uni- versität Zürich
Lorenz Wolf	Microsoft Solution Specialist - Datacenter	Tel: +41 78 844 65 76 E-Mail: lorenz.wolf@microsoft.com	06.08.2010	10:00 – 12:15	Richtistrasse 3, Wallisellen	Cloud Computing
Jürgen Winkelmann	Abteilungsleiter ID-Systemdienste ETH Zürich	Tel.: +41 44 632 58 37 E-Mail: winkelman@id.ethz.ch	10.08.2010	09:00 – 10:15	Clausiusstrasse 59, Zürich	Virtuelle Server der Infor- matikdienste der ETH Zürich
Hans Hiltbrunner	Leiter ID-Server ETH Zürich	Tel.: +41 44 632 52 35 E-Mail: hans.hiltbrunner@id.ethz.ch				
Immo Noack	Einkauf Informatikdienste der ETH Zürich	Tel: +41 44 632 34 96 E-Mail: noack@id.ethz.ch	18.08.2010	09:30 – 10:15	Stampfenbachstr. 69, Zürich	Möglicher zentraler Ein- kauf an der ETH Zürich
Hans Hirter	ISL D-UWIS	Tel: +41 44 633 37 24 E-Mail: hans.hirter@env.ethz.ch	26.08.2010	16:45 – 18:00	CHN H44, Zürich	Optimierungsmöglichkei- ten an der ETH Zürich
Patrick Eggeler	Abteilungsleiter RZ Neubauten und Betrieb der Stadt Zürich	Tel: +41 44 279 90 70 E-Mail: patrick.eggeler@zuerich.ch	13.09.2010	15:00 – 17:00	ewz-Werkhof Herdern Pfungstweidstrasse 85, Zürich	Rechenzentren der Stadt Zürich

11 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Zürich, 25. Oktober 2010

Christoph Mäder