

Nachhaltiges Datacenter Design

Certificate of Advanced Studies

Zertifikatskurs Nachhaltige Entwicklung

Zertifikatsarbeit

Universität Bern

Rainer Burki



Betreut von

Andreas Kläy, CDE, Universität Bern

Bern, 7. Januar 2013

Stichworte: Datacenter, Green-ICT, Green-IT, EU CoC on Datacenter Efficiency, The Green Grid,

Titelbild: Serverschränke, Wikimedia Commons, Josef Frühwirth

1 ZUSAMMENFASSUNG

Der Energieverbrauch der Datacenter dürfte in den westlichen Ländern im Jahr 2010 einen Anteil von etwa ein bis zwei Prozent am Gesamtstromverbrauch betragen haben. Die Schätzungen divergieren aber bereits für den heutigen Verbrauch massiv und die Meinungen für 2020 gehen weit auseinander. Die Zunahme des Energieverbrauchs in den letzten fünf Jahren von zwischen fünfzig und hundert Prozent macht eine Auseinandersetzung mit dem Energieverbrauch von Datacentern im Kontext von Klimawandel und Energiewende nötig.

Eine Reihe von Datacentern nennt sich „grün“. Damit wird häufig eine gute Energieeffizienz im Betrieb verstanden, wobei oft unterschlagen wird, dass noch keine guten, allgemein akzeptierten Messgrundlagen bestehen. Die zurzeit bestehenden Messmethoden stellen jedenfalls keine befriedigende Lösung dar.

Nachhaltig in einem strengen sozialwissenschaftlichen Sinne sind auch die grünen Datacenter eher nicht. Die Industrie setzt hier aber nicht so strenge Maßstäbe. Eine Analyse der Nachhaltigkeit anhand von Monet liefert wenig auswertbare Aussagen, das Bewertungsschema ist zu grob. Die Umweltwirkung eines Datacenters von der Herstellung bis zur Entsorgung würde mittels einer Lebenszyklusanalyse durchgeführt. In der häufig verwendeten Ecoinvent Datenbank sind Server und Netzwerkequipment jedoch nur äusserst rudimentär erfasst und auf einem alten Stand und die Resultate müssten genau hinterfragt werden. Aus Sicht Nachhaltiger Entwicklung ist die Dimension der Wirtschaft der klare Sieger. Datacenter bringen Wertschöpfung und Innovationsfähigkeit mit sich, die sich auf viele Wirtschaftszweige positiv auswirken. Aus gesellschaftlicher Sicht gibt es Gewinner und Verlierer; Gewinner sind die IT-Anwender, welche von neuen Applikationen einen Nutzen erhalten, auf der Verliererseite stehen die Menschen in den Herstellerländern, wo teilweise unter menschenunwürdigen Bedingungen gearbeitet wird.

Betreiber und Benutzer von Datacenter-Dienstleistungen sind die wichtigsten Akteure. Die Betreiber üben direkten Einfluss auf das Datacenter aus, indem sie die Software evaluieren und betreiben. Von den Betreibern ist erfreulich oft von Effizienzmassnahmen zu lesen. Von Seite der Benutzer ist hingegen wenig bis gar nichts in Richtung Mässigung (nicht zu sprechen von Suffizienz) zu vermerken. Ein Diskurs zu verantwortungsvoller Nutzung der Informations- und Kommunikationstechnik ist kaum vorhanden und entsprechend unklar ist die Zielrichtung.

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	2
2	EINFÜHRUNG	1
2.1	Ausgangslage	1
2.2	Ziele	2
2.3	Fragestellung.....	2
2.4	Vorgehensweise	2
3	DAS DATACENTER.....	2
3.1	Das Internet und die Cloud.....	3
3.2	Virtuelle Server	3
3.3	Netzwerke.....	4
3.4	Stromversorgung.....	4
3.5	Lüftung, Kühlung und Klima	5
3.6	Funktion, Nutzen und Gründe.....	5
3.7	Supercomputer und verteilte Systeme.....	6
3.7.1	Notwendigkeit	6
4	BEWERTUNG DER NACHHALTIGKEIT	7
4.1	Relevanz- und Wirkungsanalyse	7
4.2	Soziale Aspekte	7
4.2.1	Ein Nutzen im Süden durch Nutzung im Norden	8
4.2.2	Soziale Software.....	8
4.3	Wirtschaftliche Aspekte	8
4.4	Nachhaltigkeitsbeurteilung nach Monet.....	9
4.5	Lebenszyklusanalyse	10
4.5.1	Software und Datenbanken	11
4.5.2	PC Daten als Basis für Hochrechnung Server	11
4.6	Gebräuchliche Metriken und Standards	12
4.6.1	Server Benchmark SPECpower	13
4.7	Systemgrenze zwischen Hard- und Software	14
4.7.1	Nachhaltigkeit von Werkzeugen.....	15
4.7.2	Systemgrenze ohne Software	16
4.8	Begriff „Nachhaltige Software“	16
4.8.1	Longlasting Software.....	17
4.8.2	Lean Software	17
4.8.3	Software for Sustainable Humans	18
4.8.4	LCA für Nachhaltige Softwareentwicklung	18
5	NACHHALTIGERE DATACENTER	19
6	SCHLUSSFOLGERUNG	21

7	LITERATURVERZEICHNIS	24
8	ABBILDUNGEN	26
9	TABELLEN.....	26
10	ABKÜRZUNGEN	27
11	ANHANG	28
11.1	Anhang 1 Relevanz und Wirkungen	28
11.2	Anhang 2 Messgrößen: Benchmark, Metriken, Energetische Betrachtung	30
11.2.1	Power Usage Effectiveness PUE.....	31
11.2.2	Energy Reuse Efficiency ERE	32
11.2.3	Carbon Usage Effectiveness CUE	33
11.2.4	Water Use Effectiveness WUE.....	33
11.2.5	Kühlung: RCI, RTI, HVAC, Airflow.....	33
11.2.6	Datacenter Produktivität DCP	34
11.2.7	Greenpeace Clean Energy Index	34
11.3	Anhang 3: Abschätzung CO ₂ e-Ausstoss in der Nutzungsphase	34

2 EINFÜHRUNG

Ein Datacenter, zu Deutsch Rechenzentrum, ist ein Raum oder ein Gebäude für den Betrieb von Computern. Zum Datacenter zählen nebst den Rechnern alle Systeme, wie Netzwerkausrüstung, Stromversorgung, Kühlung, Verkabelung, Licht und Backup Systeme.

Teilweise verfügen bereits kleine und mittlere Unternehmen (KMUs) über Rechenzentren. Dies können mit einem Doppelboden und einem Klimagerät ausgerüstete Büros sein. Grosse Unternehmen stellen heute jedoch gleich ein ganzes Gebäude auf, welches ausschliesslich als Datacenter verwendet wird.

2.1 AUSGANGSLAGE

Der Stromverbrauch eines grossen Datacenters kann enorm sein. Bereits ein kleiner Server kann ein Kilowatt Strom verbrauchen, der Leistungsbezug eines grossen Datacenters mit tausenden von Servern beträgt teilweise mehrere Megawatt.¹ Ist das Datacenter schlecht geplant, wird die warme Abluft der Server mit nochmals derselben Menge Strom, wie die Server bereits benötigt haben, heruntergekühlt. Damit wird nur gerade die Hälfte des Stroms effektiv für die Server eingesetzt, den Rest vergeudet die Infrastruktur.

Aus umwelt- und volkswirtschaftlicher Sicht ist ein effizienter und effektiver Umgang mit den Ressourcen Energie und Elektronik wichtig. Damit der vom Bundesrat beschlossene Ausstieg aus der Atomkraft gelingen und die von der Schweizer Energiewirtschaft prognostizierte Stromknappheit nach 2020 vermieden werden kann, sind heute auch Anstrengungen im Bereich IT und Datacenter gefragt. Diverse kurz-, mittel- und langfristige Massnahmen können ein Datacenter umweltverträglicher gestalten.

Der Energieverbrauch der Datacenter heute dürfte in den westlichen Ländern einen Anteil von etwa ein bis zwei Prozent am Gesamtverbrauch betragen (EPA 2007, S.4 1.5%). Die Schätzungen für den heutigen und den zukünftigen Verbrauch divergieren jedoch massiv. Gemäss Koutitas (2010, S. 2) verbrauchen Datacenter weltweit 40 TWh elektrische Energie pro Jahr. (Diese 40 TWh entsprechen etwa zwei Drittel unseres Schweizer Jahresstromverbrauchs, s. StromCH 2011). PikeResearch dagegen schätzt den

¹ Der Energieverbrauch ist geleistete Arbeit und wird meist als Kilowattstunde kWh angegeben. Holz oder Öl beinhalten Energie, 1 kg Holz etwa 4 kWh, ein Liter Öl 10 kWh. Wie schnell man diese Energie bezieht, darüber gibt die Leistung in Watt Auskunft. Läuft die Ölheizung mit 5kW Leistung, wird ein Liter Öl nach zwei Stunden verbraucht sein.

Die verwendeten Präfixe k, M, G und T bedeuten: k kilo = tausend = 10^3 , M Mega = Million = 10^6 , G Giga = 10^9 , T Tera = 10^{12}

Stromverbrauch der Datacenter 2010 auf 200 TWh und prognostiziert für 2020 eine Reduktion auf 140 TWh, welche durch die vermehrte Benutzung von Cloud-Diensten erreicht wird (PikeResearch 2010). Dieser Trend zeige sich bereits zwischen 2005 und 2010 (Kooimey 2011), welcher aber im Bericht von Greenpeace (Greenpeace 2012, S. 10) in Frage gestellt wird. Greenpeace rechnet mit einer Steigerung um einen Faktor Drei des Internets (Datacenter, Cloud & Telecom Equipment) von 330 TWh auf 1000 TWh im 2020 (Greenpeace 2010, S.6).

2.2 ZIELE

Die Arbeit möchte eine Übersicht zur Nachhaltigen Entwicklung von Datacentern geben. In einem ersten Teil soll die Funktion eines Datacenters vorgestellt und die Frage erläutert werden, welche Funktionen Datacenter erfüllen. In einem zweiten Teil soll die Bewertbarkeit nach Kriterien der Nachhaltigen Entwicklung untersucht werden.

2.3 FRAGESTELLUNG

Wie kann die Nachhaltigkeit eines Datacenters beurteilt werden und wie werden Datacenter nachhaltiger gestaltet? Kann die Nachhaltigkeit eines Datacenters anhand der Monet Kriterien beurteilt werden? Existieren internationale Standards und Messmethoden?

Cloud Computing verspricht unter anderem, nachhaltiger zu sein. Inwieweit stimmt dies, was ist Werbung, was ist Wirklichkeit? Wie verwendet die Industrie den Begriff Nachhaltigkeit? Welche Software, welche Social Media Plattformen benötigen ein Datacenter?

2.4 VORGEHENSWEISE

Mittels Recherche im Internet werden relevante Studien zu nachhaltigem Design bei Datacentern ausgewertet. Internationale Standards werden auf die Nachhaltigkeit überprüft. Falls vorhanden, werden Empfehlungen von Behörden oder von Nichtregierungsorganisationen analysiert und aufgearbeitet.

3 *DAS DATACENTER*

Zum Datacenter rechnet man üblicherweise die zum Betrieb notwendigen Geräte, wie Klimageräte, Strom- und Notstromversorgung, Beleuchtung und Server zur Überwachung aller Geräte.

3.1 DAS INTERNET UND DIE CLOUD

Das Datacenter ist keine neuere Entwicklung der Informatik. Im Gegenteil, zu Beginn nahm ein einziger Computer einen ganzen Raum ein. In den sechziger Jahren wurden erstmals Terminals entwickelt, welche über gemietete Kabel der Telefongesellschaften an den Hauptrechner angebunden werden konnten. Mit dem Beginn des Internets in den achtziger Jahren verstärkte sich die Vernetzung der Computer sprunghaft und dank dem Personal Computer konnte die Rechnerkapazität am Arbeitsplatz bereitgestellt werden.

„The Cloud“ ist ein neuer Modebegriff. Einerseits ist damit die Speicherung persönlicher Daten auf einem Server im Internet gemeint, auf welche ein privater Kunde mit seiner Vielzahl von Geräten (PC, Laptop, Pad, Handy) immer dann Zugriff hat, wenn eine Verbindung zum Internet besteht.

Andererseits bezeichnet „The Cloud“ aber auch eine Ansammlung von Servern in einem oder mehreren Datacentern. Schnell und unkompliziert soll der Benutzer selber einen Server übers Internet aufschalten, konfigurieren und wenn er nicht mehr benötigt wird, wieder abgeben können. Die Mindestbenutzungsdauer variiert zwischen einer Stunde, einem Monat oder einem Jahr. Bezahlt wird nach der Leistungsfähigkeit, dem Speicherplatz und teilweise auch anhand der übertragenen Datenmenge. Grössere Unternehmen mit eigenem Datacenter bauen eigene Cloud-Infrastrukturen auf, diese werden als „private Clouds“ bezeichnet. Die IT-Abteilung eines Grossunternehmens kann damit neue Server innerhalb weniger Minuten bereitstellen, ohne Hardware kaufen zu müssen. Eine „public Cloud“ ist ein vom Internet her öffentlich erreichbares Datacenter mit virtuellen Servern.

3.2 VIRTUELLE SERVER

Zu einem Datacenter gehören in erster Linie die IT Server, welche die eigentlichen Aufgaben lösen, auf Grund deren man das Datacenter überhaupt gebaut hat. Ein Server kann die Grösse einer Pizzaschachtel bis zu der eines Wandschranks haben.

Die Server werden in Schränken eingebaut (engl. Rack). Diese Racks werden in Reihen nebeneinander aufgestellt, sodass Rackreihen mit Gängen entstehen. Die Anordnung in Reihen vereinfacht die Verkabelung. Ins Rack werden meist zwei Stromleisten eingeschraubt, da die meisten Server über zwei Netzteile für die Versorgung über zwei unabhängige Stromkreise verfügen.

Heute werden immer mehr Server virtuell betrieben. Das heisst, dass auf dem physikalischen Server mehrere Betriebssysteme parallel in Betrieb sind. Jedes

Betriebssystem stellt einen eigenen (virtuellen) Server dar und teilt sich die Hardware mit den anderen virtuellen Servern. So laufen auf einer Hardware vielleicht gleichzeitig Windows XP, Windows 7 und mehrere Linux Server.

3.3 NETZWERKE

Damit die IT Server untereinander und mit externen Servern Daten austauschen können, wird ein IP-Netzwerk benötigt. Dazu wird meist pro Rack oder Rackreihe ein Ethernet-Switch eingebaut. Ein zusätzliches IP Netzwerk wird für die Überwachung sämtlicher für den Betrieb notwendiger Geräte, wie Netzwerk-, Stromversorgungs-, Lüftungs- und Kühlungsgeräte benötigt, da man ansonsten den Ausfall eines redundanten Gerätes womöglich gar nicht bemerken würde.

Nicht alle Server verfügen über eigene Harddisks, sondern greifen ausschliesslich auf externe Harddisks zu. Auf Daten auf „Storage Arrays“ (riesige Ansammlungen von externen Harddisks) wird über ein eigenes Netzwerk, das Storage Area Network (SAN), zugegriffen. Für das SAN wird meist zusätzliche Netzwerk-Hardware benötigt.

3.4 STROMVERSORGUNG

Eine sichere, kontinuierliche Stromversorgung der IT Server ist enorm wichtig, da durch nicht korrektes Ausschalten von Servern (Stromausfall) die logische Struktur an Dateisystemen beschädigt werden kann und Daten verloren gehen. Server verfügen meist über zwei Netzteile und werden normalerweise doppelt (über zwei unterschiedlich abgesicherte Kreise) mit Strom versorgt. Sollte einmal der Strom ausfallen, wird die Stromversorgung kurzfristig entweder mittels Batterien oder mit Schwungrädern sichergestellt, bis die dieselbetriebenen Notstromgeneratoren Energie liefern. Schwungräder mit Generatoren gelten heute als eine moderne, umweltfreundliche Technologie, um die kurze Zeit bis zum Vollbetrieb der Dieselgeneratoren zu überbrücken.

Die Energiequelle für die Stromversorgung ist ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal für die Nachhaltigkeit. In der Schweiz dürfte kein Datacenter seinen Strom selber aus Gas oder Öl herstellen, im Ausland ist dies bei grossen Anlagen aber nicht unüblich. In der Schweiz sind die drei Stromarten „rein Wasser“, „Photovoltaik“ und „normaler Strommix“ geläufig. Die „rein Wasser“-Option ist häufig Naturemade Star zertifizierter Strom, welchen der Kunde pro Server bestellen kann. In Deutschland wird vielfach Ökostrom aus Windanlagen oder Wasserstrom aus Norwegen genutzt.

3.5 LÜFTUNG, KÜHLUNG UND KLIMA

Die im Datacenter anfallende Wärme der Rechner muss abgeführt werden. Die klassische Art ist, mit Hilfe einer Klimaanlage die erwärmte Luft auf eine Temperatur von zirka 20°C abzukühlen und die Luftfeuchtigkeit auf 50% zu regeln (eine Lüftungs- oder Kühlungsanlage kann per Definition keine Be- oder Entfeuchtung vornehmen). Bei zu hohen Temperaturen altern elektronische Komponenten zu schnell und bei tiefer Luftfeuchtigkeit können beim Wechseln von elektronischen Komponenten statische Entladungen auftreten, welche jene zerstören könnten. Dies ist mit Abstand die schlechteste Methode, da für jede Kilowattstunde verbrauchten Stroms eine Kilowattstunde erwärmte Luft anfällt und mit mehr als einer Kilowattstunde Kühlung wieder abgekühlt wird. Im Datacenter wird also mehr als die doppelte Energie verbraucht, als die IT Server tatsächlich benötigen. Heute wird immer häufiger Aussenluft zur Kühlung eingesetzt, welche erwärmt direkt an die Umgebung abgegeben wird. So gibt die Firma Data11 aus Solothurn an, dass „die Kühlung bei Temperaturen unter 17°C ausschliesslich mit Aussenluft“ erfolge.

3.6 FUNKTION, NUTZEN UND GRÜNDE

Die prinzipielle Aufgabe eines Datacenters ist, Rechnerkapazität für Software zur Verfügung zu stellen. Diese vereinfachte Sicht stellt die Aufgabe zwar reduziert, aber richtig, dar. Nebst der Hauptaufgabe bietet ein Datacenter weitere Leistungen. Meist geben praktische Gründe den Ausschlag, warum ein Server in ein Datacenter gestellt wird: Die redundante Stromversorgung ist vorhanden, der Geräuschpegel spielt im Serverraum keine Rolle und eine Klimaanlage regelt die Wärme und Luftfeuchtigkeit. Zusätzliche Hardware kann schnell und unkompliziert installiert werden.

Datacenter werden auch aus betriebswirtschaftlichen Sicherheitsüberlegungen gebaut. Wertvolle Daten sollen möglichst zuverlässig gespeichert werden. Die IT-Systeme sind in einem Datacenter deutlich besser geschützt. Weil nur wenig Personal Zutritt zu den Geräten hat, sind Zwischenfälle wie das unwissentliche Herausziehen eines Steckers durch Putzpersonal seltener und böswillige Manipulationen an den Geräten schwieriger.

Ein Datacenter wird benötigt, wenn eine grosse Datenmenge zu verwalten ist oder wegen hoher Rechenleistung mehrere Rechner verwendet werden und zwischen den Rechnern eine hohe Datenübertragungsrate oder eine kurze Verzögerung nötig ist.

Der erste Grund ist recht offensichtlich: Wenn eine Applikation mehr Daten verwaltet, als lokal auf einem PC gespeichert werden können, wird ein zentraler Server mit entsprechend grossem Speicherplatz für Daten benötigt. Der zweite Grund, die hohe

Datenrate, stammt daher, dass eine grössere Applikation meist auf mehreren Servern läuft. Wenn zwischen den Servern viele Daten in kurzer Zeit ausgetauscht werden müssen, können die Server nicht an beliebigen Orten aufgestellt werden, sondern müssen nahe beieinander stehen. Die Laufzeit der Signale zwischen den Servern würde die Applikation sonst zu stark bremsen.

3.7 SUPERCOMPUTER UND VERTEILTE SYSTEME

Ein Supercomputer ist gewissermassen ein Extremum eines Datacenters, ein ultrakompaktes Rechenzentrum. Wären die CPUs nicht so nahe beieinander, wäre der Datenaustausch – auch wenn er mit Lichtgeschwindigkeit geschieht – ein stark bremsender Faktor.

Lässt sich eine Aufgabe aufteilen und stückweise auf viele Rechner (CPU) verteilen, bei der jede Rechereinheit einen Teil löst und gleichzeitig die CPUs untereinander viele Daten austauschen, so eignet sich ein Supercomputer dazu. Der Cray XE6 vom CSCS in Manno besitzt 48'000 CPUs und 400 TFLOPs (CSCS 2012), welche parallel an denselben Daten rechnen können. Gewisse Probleme der Mathematik, der Physik (Wettervorhersage) und der Chemie profitieren von solchen spezialisierten Computern.

Nicht jede parallelisierbare Aufgabe muss auf einem Supercomputer gerechnet werden. Ist die Datenrate gering, kann eine dezentrale Lösung eine elegantere Lösung darstellen. So zum Beispiel das SETI@home Projekt (Search for Extraterrestrial Intelligence), bei dem Privatpersonen ihren PC der Forschung für die Suche nach Ausserirdischen zur Verfügung stellen. Mittels rund einer Million privater PCs steht etwa eine tausendmal höhere Rechenleistung als mit dem XE6 vom CSCS zur Verfügung (CSC 2012, DistComp 2012).

3.7.1 Notwendigkeit

Wie oben dargestellt, können gewisse Aufgaben nur in einem Datacenter gerechnet werden. Für diese Software Applikationen ist ein Datacenter notwendig. Die Verwaltung grosser Datenmengen mit hoher Datenrate zwischen den Systemen gilt als hinreichender Grund für ein Datacenter. Erst dank eines Datacenters lassen sich gewisse Applikation aus den Gebieten der Naturwissenschaft, wie Meteorologie, Physik, Chemie oder Biologie, betreiben. Selbstverständlich lassen sich Dienste wie Google oder sonstige grosse Datenbanken nicht ohne Datacenter betreiben.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht lassen sich Praktikabilität (einfache Installation von Hardware) und Sicherheit (Zuverlässigkeit, Schutz der Daten und damit Schutz der

Geschäftstätigkeit) als Gründe für die Notwendigkeit eines Datacenters aufzuführen.

4 BEWERTUNG DER NACHHALTIGKEIT

Nach der Einführung zur Beschaffenheit und Notwendigkeit von Datacentern soll die Frage der Nachhaltigkeit erörtert werden: Gibt es ein nachhaltiges Datacenter und wie kann dieses bewertet werden? Nach einer Relevanz- und Wirkungsanalyse werden verschiedene, heute angewendete Ansätze und Methoden vorgestellt.

Der Begriff Nachhaltigkeit wird gemäss dem Modell der nachhaltigen Entwicklung mit den drei Dimensionen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft verwendet, da dieses das breiteste, auch von Politik und Wirtschaft akzeptierte, Modell ist. Wo wirtschaftliche Vorteile gegen Umweltschäden abgewogen werden, sei an den Fehler des Modells erinnert, dass alle Dimensionen gleich wichtig sind: Die Umwelt kommt gänzlich ohne Gesellschaft oder Wirtschaft aus, nicht jedoch umgekehrt.

4.1 RELEVANZ- UND WIRKUNGSANALYSE

Die relevantesten Bereiche eines Datacenters sind der Strom- und Ressourcenverbrauch mit der Freisetzung giftiger Materialien (Herstellung und Entsorgung), die Innovationsfähigkeit und betriebliche Sicherheit sowie Arbeitsbedingungen im Herstellungsprozess der Hardware. Für die Bewertung der Nachhaltigkeit eines Datacenters zählen somit hauptsächlich Fragen zu Umweltwirkungen. Während die wirtschaftlichen Aspekte auch deutlich in Erscheinung treten, sind die sozialen Wirkungen bei der Software zu suchen oder eher diffus und nur bei Betrachtung des Lebenszyklus der Hardware ersichtlich. Einige der wichtigsten relevanten Aspekte und deren Wirkungen werden in der Tabelle im Anhang 1 aufgelistet.

4.2 SOZIALE ASPEKTE

Betrachtet man die Arbeit in einem Datacenter, ist diese körperlich nicht anstrengend und für Frauen und Männer genauso geeignet. Je nach Arbeitsgattung ist sie auch behindertengerecht. Einzig der Einbau grosser Server braucht körperlich höhere Leistungen.

Der Herstellungsprozess, beginnend mit dem Abbau der Rohmaterialien, erfolgt in Entwicklungsländern häufig unter schlechten Arbeitsbedingungen. Der gesundheitliche Schutz der Arbeiter entspricht nicht den westlichen Standards und nebst der Gefährdung der Menschen mit giftigen Stoffen wird auch die Umwelt belastet.

4.2.1 Ein Nutzen im Süden durch Nutzung im Norden

Für Entwicklungsländer ohne Datacenter eröffnen sich durch das Angebot von billigen virtuellen Servern in öffentlichen Datacentern des Nordens neue Geschäftsfelder. Die virtuellen Server kosten in der billigsten Variante gerade mal 100 Euro im Jahr.

Diese Datacenter werden in Zukunft vermehrt eine kleine wirtschaftlich-soziale und entwicklungspolitische Komponente spielen. Das Internet erlaubt Entwicklungsländern, Dienste über Infrastrukturen anzubieten, welche sie gar nicht besitzen. Denn es spricht nichts dagegen, dass IT-Dienstleistungen auf einem europäischen Server gehostet werden, welche in Afrika entwickelt und von dort aus betrieben werden. Die Dienstleistung wird aber in den industrialisierten Ländern mit Breitbandanschlüssen bezogen. Ein Beispiel ist ein Server mit Tourismusangeboten, mit Videos der touristischen Anziehungspunkte und direkten Buchungsmöglichkeiten. Auch wenn ein Land nur über schwache Internetverbindungen verfügt, kann es dank Datacentern in Europa, USA oder Asien Touristen professionelle Internetdienste anbieten.

4.2.2 Soziale Software

Betrachten wir auch die Applikationen, welche in einem Datacenter laufen, so findet man sogar Datacenter, welche aus – vordergründig – sozialen oder nachhaltigen Beweggründen heraus entstanden sind. Social Networks oder Social Media Plattformen wie Facebook und Twitter könnten ohne Datacenter nicht betrieben werden. Beide Plattformen sammeln eine riesige Menge an Daten. Ebay gibt an, als Gebrauchtgütertauschbörse einen nachhaltigen Zweck zu verfolgen, was ja nicht abzustreiten ist. Facebook sammelt möglichst viele persönliche Daten, um Werbefläche möglichst zielgerichtet verkaufen zu können. Skype kommt im Vergleich mit den beiden anderen Diensten mit einer eher kleinen Datacenterinfrastruktur aus, da der Dienst einen Peer-to-Peer-Netzwerkdienst darstellt, also ohne zentralen Server auskommt.

4.3 WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE

Attribute, wie flexibel, dynamisch und schnell, werden gerne zur Beschreibung der IT Industrie benutzt. Die neusten Datacenter Dienstleistungen werden unter dem Kürzel XaaS zusammengefasst, welches eine ganze Sammlung von neuen Cloud-Diensten umfasst: IaaS (Infrastructure as a Service: Hardware mieten), PaaS (Platform as a Service: ganze Gebilde bestehend aus Hardware und Software wie beispielsweise Datenbanksysteme), SaaS (Software as a Service: Office Produkte werden aus dem Datacenter gestartet und nicht mehr lokal installiert). Je nach Unternehmen lassen sich Betriebs- oder Investitionskosten sparen. Häufig spart man auch Zeit, da der Aufbau und ein Teil der

Installation wegfallen. Beim Amazon Web Service werden nicht nur virtuelle Server in beliebiger Grösse und Menge stundenweise zur Verfügung gestellt, es stehen auch Datenbanken (leer oder bereits mit Inhalt gefüllt, wie die Human Genom Datenbank), Webshops, reiner Datenspeicherplatz, Mikropaymentsysteme sowie ein Marktplatz für Arbeitsvermittlung (HaaS, Humans as a Service) zur Verfügung. Über die Content Management Platform können Filme angeboten werden, welche man aus Netzwerkgründen nicht vom eigenen Webserver anbieten will.

Datacenter steigern die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit, indem sie IT Innovationen ermöglichen. Die Effekte sind vielfältig, von effizienteren Abläufen bis zu neuen Produkten. Sie sind ein fixer Teil unserer IT Infrastruktur und dürften in absehbarer Zeit nicht wieder verschwinden. Interessant ist, dass diese positiven Effekte nicht auf die Volkswirtschaft des Landes, wo das Datacenter steht, beschränkt sind, weil es keine Rolle spielt, ob man ein inländisches oder ausländisches Datacenter benützt. Durch das weltumspannende Internet kann eine Innovation lokal geschehen, auch wenn dazu ein Datacenter im Ausland nötig ist. Gleichzeitig tendiert die Cloud Technologie dazu, dass virtuelle Server von einem Datacenter in ein anderes in kürzester Zeit verschoben werden können. Damit werden gewisse Server vielleicht „der Nacht folgend“ rund um die Erde verschoben, um von günstigem Nachttarif zu profitieren.

Durch die CO₂-arme Stromproduktion und die hohe Versorgungssicherheit ist die Schweiz ein interessanter Standort für Datacenter. Ab einer gewissen Strompreiserhöhung muss mit einer Abwanderung von Kunden, respektive Datacentern, ins Ausland gerechnet werden. Für die Innovationsfähigkeit der Industrie wäre dies aber kaum problematisch, da der Betrieb eines Datacenters selbst nur einen kleinen Teil der Innovation darstellt. Die restliche Industrie würde Datacenter im Ausland nutzen.

4.4 NACHHALTIGKEITSBEURTEILUNG NACH MONET

Eine grobe Evaluation der Nachhaltigkeit wurde anhand des vom ARE zur Verfügung gestellten Excel Tools NHB (vgl. ARE NHB) für zwei fiktive Varianten erstellt: Einbau eines Datacenters in einem bestehenden Gebäude und Erstellen eines Gebäudeneubaus. Beide Standorte sollen vergleichbar in Stadtnähe sein. Die Idee hinter dem Versuch war herauszufinden, welche Ergebnisse das NHB Tool erbringt.

Die Ergebnisse des Bereichs Wirtschaft sind bei beiden Varianten positiv: Ein paar wenige Arbeitsplätze werden geschaffen, ein Datacenter erlaubt, neue IT-Technologien einzusetzen, die Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft wird gefördert, ohne dass der Staat Gelder aufbringen muss.

Die Wirkungen auf die Umwelt sind bei beiden Varianten leicht negativ. Dies unter der Annahme, dass bei Nichtrealisation des Datacenters ein Teil des Equipments trotzdem beschafft würde (womöglich sogar eine grössere Anzahl Equipment als im Datacenter steht).

Für die Auswertung des NHB Tools ist dies eine wichtige Frage, aber wohl eine der schwierigsten. Tendenziell dürfte ein privates (nur von einer Unternehmung genutztes Datacenter) zu einer Konsolidierung der IT Hardware führen und somit besser abschneiden als ein öffentliches Datacenter, welches eher neue Bedürfnisse weckt.

Für die Gesellschaft erfolgen keine relevanten Resultate. Die Ergebnisse sind (wie erwartet) wenig aussagekräftig.

Das Resultat des Versuchs mit dem NHB Tool ist, dass die Fragen zu unspezifisch sind, als dass eine bessere Variante zum Vorschein treten könne; in der Praxis würde ein Variantenentscheid mit diesem Tool nicht erleichtert. Für eine genauere Analyse müsste berücksichtigt werden, wie viel Equipment altersbedingt nicht mehr in das Datacenter verschoben würde. Auch die Wirtschaftlichkeit ist kaum zu bewerten: Inwieweit lässt sich die Innovationskraft mit dem Datacenter steigern, wie viel schneller können neue Dienstleistungen umgesetzt werden?

4.5 LEBENSZYKLUSANALYSE

Für ein genaueres Bild der Umweltwirkungen kann eine Analyse aller Komponenten von der "Wiege bis zur Bahre" erstellt werden. Diese Lebenszyklusanalyse, oder Ökobilanz, erfasst die Umweltwirkungen von der Produktion bis und mit der Entsorgung eines Produktes oder einer Dienstleistung.

Das Datacenter wird dazu gedanklich in seine Einzelteile zerlegt und von der Herstellung, über Betrieb und Rückbau, analysiert (das Gebäude, seine Infrastruktur, wie Heizung, Lüftung, Klima sowie die gesamte IT-Infrastruktur, der Server mit seinen Komponenten, wie CPU, Harddisks und Mainboard). Da eine „auf der grünen Wiese“ beginnende Analyse enorm aufwändig wäre, verwendet man Daten aus bereits analysierten Komponenten von Umweltdatenbanken. Die Analyse wird meist mittels Software durchgeführt, welche diese Dekomposition und die Zugriffe auf die Datenbanken bewerkstelligt.

Ein Standard für die Erstellung von Ökobilanzen von Datacentern scheint in der europäischen und anglosächsischen Welt nicht zu existieren. Lebenszyklusanalysen werden häufig mit Eco-Indicator 99-Punkten oder dem Global Warming Potential (GWP) in

CO₂-Äquivalenten angegeben. Die in der Schweiz entwickelte Methode der Umweltbelastungspunkte (UBP) scheint sich in der Ausbreitung eher auf die Schweiz zu beschränken.

4.5.1 Software und Datenbanken

Auf dem Markt werden verschiedene Software Applikationen zur Lebenszyklusanalyse angeboten. Zu den bekanntesten² gehört SimaPro. Eine der bekanntesten Datenbanken ist die in der Schweiz entwickelte Ecoinvent. Nach der Aktivierung eines Gastkontos lässt sich diese Datenbank nach Produkten durchsuchen. Die Suche nach Servern oder Netzwerkgeräten fällt jedoch sehr dürftig aus. Es befindet sich kein Server in der Datenbank, einzig ein älterer PC, Baujahr wohl nach der Jahrtausendwende, welcher heute kaum mehr im Einsatz stehen dürfte und mit einem heutigen Server schwierig zu vergleichen ist. Als Netzwerkkomponente findet man einen einzigen Router, welcher als Corerouter identifiziert wird, was in etwa so richtig ist, wie wenn man einen Mini Cooper als Sattelschlepper bezeichnen würde. Die Aussagekraft einer auf Ecoinvent basierenden Lebenszyklusanalyse müsste mit einer Sensitivitätsanalyse sorgfältig überprüft werden.

Der Softwarehersteller von GaBi bietet zusätzlich zur Ecoinvent Datenbank eigene Datensätze an. Aber auch dort lassen sich keine Server oder Netzwerkequipment finden.

Da Ecoinvent zu den grössten Datenbanken gehört, findet man auf den drei Gratis-Datenbanken NREL (USA), OekoPro und ELCD keine besseren Daten³.

4.5.2 PC Daten als Basis für Hochrechnung Server

Möchte man einen Datacenter-LCA durchführen, müsste man sich mit anderweitiger Information weiterhelfen. Ein Hardware-Hersteller veröffentlicht selbstermittelte LCA-Werte im Rahmen seiner Betriebsumweltpolitik. Der untersuchte Büro-PC, Baujahr um 2010, emittiert ca. 330 kg CO₂-Äquivalente in der Herstellung und im Transport (Fujitsu-LCA 2010 S.4).

Gemäss Eugster et al (2007 zit. in EcoInfo Synthèse ACV) schlägt in der Herstellungsphase die Hauptplatine mit etwa 50% zu Buche. Auch ein mittelgrosser Server hat meist nur eine Hauptplatine, dort aber mehrere CPUs darauf. Die CPU dürfte als die komplexeste Komponente den höchsten Anteil verursachen. Als Annahme könnte man für einen kleineren Server zwischen anderthalb bis fünfmal mehr CO₂e für die Produktion

² Eine Liste mit Software findet sich unter: <http://www.ecodesign.at/methodik/software/index.de.html>

³ Links zu obigen und anderen Datenbanken: <http://www.greendeltatc.com/Datenbanken.119.0.html>

veranschlagen (500 bis 1500) als für einen Büro-PC, für grosse Server (Kosten > 10'000 CHF) sicher auch ein Vielfaches davon.

4.6 GEBRÄUHLICHE METRIKEN UND STANDARDS

Die amerikanische Organisation „The Green Grid“ hat in den letzten zehn Jahren diverse Messmethoden publiziert (PUE, CUE, ERE etc., siehe Anhang 11.2). Keine vermag aber wirklich zu überzeugen; teilweise hinterlassen die Standards einen Eindruck von Nachlässigkeit. So mass PUE zuerst die Leistung (=Power) statt der Energie. Als der Fehler erkannt wurde, hat man PUE einfach umdefiniert anstatt einen neuen Namen zu vergeben und so misst man heute „Energy“, nennt es aber „Power“. The Green Grid schreibt (TGG-CUE 2010), dass sie die Lebensweganalyse als wichtig erachten, aber aus praktischen Gründen auf eine Integration in die Metrik „Carbon Use Efficiency“ (CUE) verzichteten. CUE betrachtet auch nur gerade die Nutzungsphase und beschreibt, wie die Energie produziert wird (Wasser, Gas, Öl, Photovoltaik).

Ohne dies mit Zahlen belegen zu können, darf wohl PUE in der neuen Definition zurzeit als die gebräuchlichste Metrik für Datacenter bezeichnet werden. An zweiter Stelle dürfte CUE folgen, vor allem wenn der Betreiber anhand eines grossen Anteils von Wasserstrom einen kleinen Ausstoss von CO₂ hat.

Drei Label für Datacenter werden vergeben: Energy Star, LEED und der Code of Conduct for Datacenter. Das Energy Star Label für Datacenter wird im Rahmen des Programms „Energy Star for Buildings“ vergeben. Das Label ist für Gebäude gedacht, bei denen mindestens 50% der Geschossfläche dem Datacenter zugeordnet werden können. Das Energy Star Label für Datacenter wird vergeben, wenn der PUE unter die besten 25% einer Vergleichsgruppe fällt. Nicht amerikanische Gebäude können nicht erfasst werden. Energy Star berücksichtigt weder Herstellung, Beschaffung von IT noch Rückbau.

Der LEED Standard für Datacenter ist ein anderes (Gebäude-)Label und bezieht sich nicht auf den Betrieb, sondern nur auf die Herstellung (und womöglich werden Überlegungen zur Entsorgung angestellt). In Vertatique LEED-NC wird auch berichtet, dass LEED zertifizierte Datacenter nur teilweise (18 – 39%) einen tieferen Energieverbrauch im Betrieb aufweisen als vergleichbare Datacenter; 28 – 35 % würden sogar einen höheren Verbrauch aufweisen.

Der *European Code of Conduct on Data Centres Energy Efficiency* (EU CoC) scheint das umfassendste Werk für eine energetische Optimierung des Betriebs zu sein. Er wird von der Europäischen Union erarbeitet und gehört zu einer Sammlung von CoCs für Digital TV Settop-Boxen, Breitband Modems und Netzteilen. Die Hauptziele sind, mit wirtschaftlichen

Massnahmen Einsparungen im Stromverbrauch zu erzielen. Die Teilnahme am EU CoC ist gratis, es wird aber erwartet, dass die Datacenterbetreiber kontinuierlich den Stromverbrauch messen und melden. Die Reduktion von Treibhausgasen oder giftigen chemischen Substanzen ist nicht Teil des CoCs.

Im Rahmen des Reportings wird nicht nur der Stromverbrauch anhand der PUE Metrik erfasst. Das Best Practice Handbuch enthält eine breite Sammlung von Aspekten, die für Stromeinsparungen berücksichtigt werden sollen. So werden Sitzungen mit allen im Datacenter involvierten Personen empfohlen, um die Erkenntnisse zu Energieeinsparung möglichst mit allen zu erörtern und ein gemeinsames Verständnis zu schaffen. Zudem wird empfohlen, die Menge an Daten zu reduzieren oder effiziente Software zu beschaffen, respektive eine Strafe oder Belohnung für Softwareentwicklungen vorzusehen, sollte diese nicht die zugesicherten Energieanforderungen erfüllen (siehe Kapitel 4.8.2). Die Punkte sind längst nicht alle einfach umzusetzen, denn wenn ein Administrator verlangt, unnötige Backups zu löschen, wird der Besitzer der Applikation und damit Verantwortlicher für die Backups vor die schwierige Aufgabe gestellt, festzulegen, welche Backups man löschen darf (ausser die Firma hat verbindliche Regeln aufgestellt). Mit dem EU CoC lässt sich der laufende Betrieb eines Datacenters energetisch umfassend optimieren. Indem Aspekte wie Lean Software angesprochen werden, ist es das einzige Werk, welches ganz schwach Andeutungen in Richtung Suffizienz macht. Eine Erweiterung um Umweltaspekte, wie RoHS, Reduktion des Wasserverbrauchs oder im Sozialen mit „Fair-Buy“ (vgl. BuyITfair 2009), würde ihn noch weiter von den anderen Standards absetzen.

4.6.1 Server Benchmark SPECpower

Die Organisation SPEC hat einen Benchmark publiziert, mit dessen Hilfe die Rechenleistung eines Servers pro Watt gemessen werden kann. Somit lässt sich vergleichen, wie effizient Server mit Strom umgehen. Die CPU-Performance wird anhand eines vorgegebenen Programms ermittelt und gleichzeitig wird die Leistungsaufnahme in Watt gemessen. Die Einheit ist Rechenleistung pro Watt (Rechenoperationen/s/Watt, ssj/Watt genannt). Je nach Einsatzzweck sind vier Werte relevant:

- Rechenleistung pro Watt bei Volllast
- Rechenleistung pro Watt im Durchschnitt
- Leistungsaufnahme bei Volllast (Dimensionierung von Strom und Klima)
- Leistungsaufnahme im Leerlauf.

Die Leistungsaufnahme im Leerlauf ist dann interessant, wenn ein Server 7 x 24 h in

Betrieb sein muss, aber in der Nacht und am Wochenende wenig Last erwartet wird. Aus den SPECpower Resultaten lässt sich abschätzen, dass heute gute Server im Leerlauf etwa viermal weniger Strom als bei Volllast benötigen. In Zukunft dürfte diese Spanne noch deutlich grösser werden, denn vor etwa zehn Jahren gab es diesen Unterschied noch gar nicht.⁴

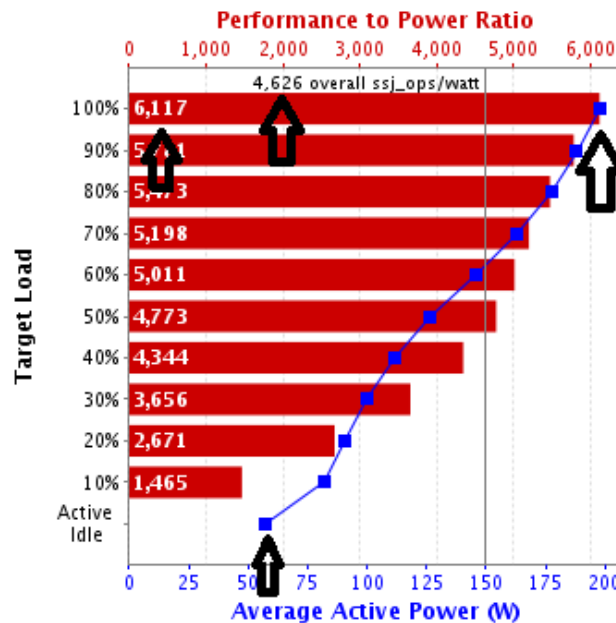


Abbildung 1 SPECpower Resultatgrafik

Das System verbraucht bei voller Last (100%) 200 Watt, im Idealzustand (Leerlauf) etwa 60 Watt (blaue Linie). Bei Volllast erreicht das System 6117 ssj/Watt, der Durchschnitt ist 4626 (zuoberst innerhalb der Grafik).

4.7 SYSTEMGRENZE ZWISCHEN HARD- UND SOFTWARE

Damit die umweltrelevante Dimension der Nachhaltigkeit von Datacentern beurteilt werden kann, muss das Objekt „Datacenter“ definiert werden. Üblicherweise werden das Gebäude und alle Hardware betrachtet, welche zum Betrieb des Datacenters benötigt werden. Dies ist die Stromversorgung inklusive Notstromversorgung, Klimaanlage und Licht zum Betrieb der Server und Netzwerkinfrastruktur. Bei Notstromdieselmotoren gehört dazu auch die permanente elektrische Vorerwärmung im Winter, um einen sicheren Start zu gewährleisten. Die Systeme zur Überwachung der operativen Server (PCs, Monitore, Server), meist in einem angrenzenden Raum untergebracht, werden auch zur Datacenterinfrastruktur hinzugezählt.

⁴ „A typical server’s utilization is about 5% to 15%, yet it draws full power.“ EPA-top (2011, S.1) stützt die Aussage damit, dass die heutigen, älteren Server noch kaum über Stromsparmechanismen verfügen.

Eine interessante Frage betrifft die im Datacenter betriebenen Applikationen: Darf oder soll bei der Analyse eines Datacenters die Software ignoriert werden oder stellt dies eine zwar übliche aber unzulässige Vereinfachung dar? Hängt die Nachhaltigkeit des Datacenter, also der Hardware, von der darauf betriebenen Software ab? Wird die Nachhaltigkeit des Datacenters vermindert, falls die betriebene Software keine nachhaltigen Zwecke verfolgt?

4.7.1 Nachhaltigkeit von Werkzeugen

Ein Datacenter ist ein Werkzeug wie etwa ein Hammer. Die Nachhaltigkeit eines Hammers lässt sich, wie andere Produkte auch, anhand der drei Nachhaltigkeitsdimensionen beurteilen. Als Werkzeug ist der Hammer ein Produkt mit einer Umweltbelastung und damit interessiert der Lebenszyklus: Wie wurde der Hammer produziert und kann er später einmal entsorgt werden? Wie jedes Werkzeug wird der Hammer zur Herstellung von etwas anderem verwendet. Ob dieses Neue „nachhaltig“ ist, ist im Fall vom Hammer irrelevant, denn die Nichtnachhaltigkeit des neuen Produktes soll nicht rückwirkend die Nachhaltigkeit des Werkzeuges beeinflussen, der Nachhaltigkeitsbegriff würde um ein Vielfaches komplizierter. Am Beispiel des Hammers ist auch einsichtig, dass es kaum Sinn machen würde, denn die Nachhaltigkeit des Hammers müsste mit jedem neu geschaffenen Produkt angepasst werden.

Hingegen wird der Hammer seine tiefe Umweltbelastung auf die neuen Produkte weitergeben. Wurde mit dem Hammer eine neue Schule gebaut, welche zentral im Wohnquartier, sehr gut isoliert und dank vieler Fenster mit wenig Kunstlicht auskommt, so ist diese neue Schule nachhaltig. Die tiefe Umweltbelastung des Hammers wurde auch an die Schule weitervererbt. Wäre statt des Hammers (und der Nägel) ein stark FCKW-haltiger Leim verwendet worden, wäre diese weniger gute Umweltbelastung an die Schule weitergegeben worden und die Schule würde weniger gut abschneiden. Auch der wirtschaftliche Aspekt des Hammers wurde an die Schule weitergegeben, in Form von Kosten. Wäre der Leim billiger gewesen, kostete die Schule weniger.

Kann eine soziale Komponente eines Werkzeugs weitervererbt werden? Ein Beispiel aus der IT: Eine Programmbibliothek ist eine Software, welche von anderer Software wiederverwendet werden kann. Dies könnte eine Vorleseprogrammbibliothek sein, welche Texte über Lautsprecher wiedergibt. Die soziale Komponente der Bibliothek, die dem Humankapital zugutekommt, wird auch weitervererbt. Denn ergänzt man eine Lernsoftware, beispielsweise Geographielernsoftware, mit der Vorlesebibliothek, sodass auch Sehbehinderte Geographie am Computer erlernen können, erhöht sich der soziale Wert des Programms. Wenn Schulen das Humankapital steigern, so wird auch

Lernsoftware einen positiven Beitrag leisten.

Das Datacenter ist ein Werkzeug, die Produkte sind laufende Softwareapplikationen. Die Umweltbelastungen, die Kosten und die sozialen Komponenten des Datacenters werden anteilmässig auf die gleichzeitig laufenden Applikationen weitergegeben. Da das Datacenter nur wenige soziale Komponenten aufweist, werden die Applikationen kaum davon profitieren.

Die Gedanken entsprechen in etwa der Intuition. Die gleiche Applikation einmal gehostet auf einem mit Strom aus thermischen Kraftwerken betriebenen Datacenter und einmal in einem Datacenter mit Öko-Strom, ergibt intuitiv ein besseres Bild für das zweite Gesamtsystem.

4.7.2 Systemgrenze ohne Software

Ob das Datacenter inklusive Software oder ohne betrachtet wird, ist also nicht unerheblich. In jedem Fall ist für die Bewertung der *Nachhaltigkeit des Datacenters* die Software nicht zu berücksichtigen. Falsch wäre aber die Annahme, dass die Software keinen Einfluss auf das Datacenter ausübt. Zwei funktional identische Applikationen fordern unterschiedlich viele Ressourcen vom Datacenter und belasten so die Umwelt unterschiedlich. Schlecht programmierte Applikationen werden ein Mehrfaches an Hardware und Strom verbrauchen. Das Datacenter kann dafür aber nicht zur Verantwortung gezogen werden. Es bleibt den Betreibern einzig der Versuch der Beeinflussung der Software-Verantwortlichen, keine überbordenden Anforderungen an die Hardware aufzustellen. Siehe dazu auch das Kapitel 4.7.

4.8 BEGRIFF „NACHHALTIGE SOFTWARE“

Der Diskurs „nachhaltige Software“ wird zurzeit recht kontrovers geführt. Einen Überblick bietet die Wiki-Webseite der Technischen Universität München mit den drei geläufigsten Verwendungen: langlebige Software, schlanke Software und Software für eine nachhaltigere Menschheit (TUM sustainability).

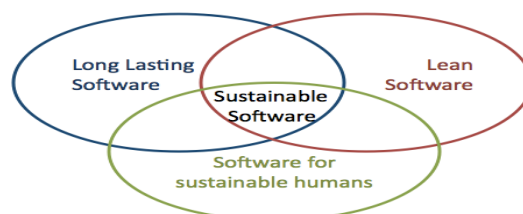


Abbildung 2 Sustainable Software (TUM sustainability)

An der Fachhochschule Trier wird zusätzlich an einem Lebenszyklusmodell für

nachhaltige Softwareentwicklung und Metriken für die Bewertung von Software geforscht.

4.8.1 Longlasting Software

Langlebige Software beschreibt, wie gut die Software spätere Änderungen zulässt. Nachhaltige Softwareentwicklung wird hier als Fähigkeit eines Teams beschrieben zur unendlichen Aufrechterhaltung des Entwicklungstempos, indem aktiv das sich ständig wechselnde Umfeld beobachtet und Kundenwünsche proaktiv implementiert werden, im Gegensatz zu einer nicht nachhaltigen Entwicklung mit reaktivem Verhalten, wenn das Team hauptsächlich mit Fehlerbehebung beschäftigt ist. Es ist aber nicht gerade einsichtig, warum ein Programmcode, der möglichst lange gewartet wird, a priori besser sein soll, als ab und zu den Programmcode wegzwerfen und von Grund auf neu zu schreiben.

Interessanterweise wird auffällig häufig auf die im Trend stehende Entwicklungsmethode „Agile“ verwiesen. Dass das Umfeld der „Agile-Evangelisten“ den Begriff Nachhaltigkeit strapaziert, dürfte mit dem etwa zeitgleichen Hype von „Nachhaltigkeit“ und „Agile“ zusammenhängen. Wäre „Agile“ zehn Jahre früher entstanden, wäre wohl „Governance“ oder sonst einem Begriff diese Ehre zuteil geworden. Mit Nachhaltiger Entwicklung in einem sozial-wissenschaftlichen Sinn hat diese „nachhaltige Softwareentwicklung nichts zu tun.

Die der Open Source Bewegung nahestehende „OSS Watch“ definiert ein „Software Sustainability Maturity Model“, welches sich aber eigentlich nur auf die freie Verfügbarkeit des Codes bezieht (vgl. OSS Watch).

4.8.2 Lean Software

Schlanke Software (lean Software) geht sparsam mit Ressourcen, wie CPU, Speicher, oder Datenverkehr, um. Diese Software verwendet effiziente Algorithmen und speichert nur das Nötigste.

Dass Software über die Jahre grösser und grösser wird, scheint einem Naturgesetz zu ähneln. So wuchs der Firefox Browser von 4.7 Mbyte 2004 auf 7 Mbyte (Firefox 3.6, 2008) und 16 Mbyte (Firefox 13, 2012). Zwischen der alten 3.6 und der neuesten 13er Version gibt es für viele Nutzer nicht wirklich signifikante Unterschiede. Software, die vordergründig dasselbe macht, ist also längst nicht ähnlich gross.

Lean Software bezieht sich nicht nur auf Applikationen, es kann auch der Inhalt, wie eine Webseite, gemeint sein. Eine Seite mit einer animierten Werbung braucht deutlich mehr Strom zum Anzeigen als ein Bild. Zusätzlich wird auch mehr Netzwerkbandbreite

benötigt. Wer seine Browserstartseite auf Bluewin.ch oder Local.ch zeigen lässt, wird wegen den zahlreichen Werbefilme mehr Strom verbrauchen als jemand mit google.ch als Startseite. Das Abspielen eines Films benötigt Rechenzeit. Fünfundzwanzigmal pro Sekunde wird die CPU (oder die Grafik CPU) aus dem Lowpower Zustand geholt und mit der Berechnung eines neuen Bildes beauftragt.

Die immer leistungsfähigeren Computer erlauben, immer mehr Funktionen in die Software zu verpacken. Mit dem Resultat, dass neuere Software – grösser und oft langsamer - plötzlich nicht mehr auf dem alten PC läuft. Der alte, eigentlich vollfunktionsfähige PC wird ausser Betrieb genommen. Lean Software im Bereich Betriebssysteme ist also genauso wichtig. Ein XP Betriebssystem lief mit 256 Mbyte, Windows 7 will mindestens 1024 Mbyte, hat aber kaum viermal mehr Funktionen.

4.8.3 Software for Sustainable Humans

Die dritte Kategorie bezeichnet Software für eine nachhaltigere Menschheit, Software for sustainable Humans (TUM sustainability). In dieser Kategorie werden alle Applikationen aufgeführt, welche in irgendeiner Weise unser Verhalten in Richtung Nachhaltigkeit beeinflussen. Dies können intelligente Heizungssteuerungen sein, Kartierungssoftware für schadstoffbelastete Böden oder im sozialen Bereich Software, um Behinderte im täglichen Leben zu unterstützen.

4.8.4 LCA für Nachhaltige Softwareentwicklung

Ein neues Forschungsgebiet zeichnet sich mit „Nachhaltige Softwareentwicklung“ oder „Green Software“ ab. Darunter versteht man „Software, deren direkte und indirekte negativen Auswirkungen auf Menschen, Gesellschaft und Umwelt über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg minimal sind und die bestenfalls einen zusätzlichen positiven Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung leisten“ (vgl. Dick et al. 2010, zit. nach GreenSW Modell 2010). Ein Referenzmodell für Green Software ist in die Bereiche Lebenszyklus, Nachhaltigkeitskriterien, Vorgehensmodell und Handlungsempfehlungen eingeteilt.

Für Datacenter Evaluationen dürfte der Teil der Nachhaltigkeitskriterien interessant sein. Die Idee der Initianten ist, eine Art „ökologischen Fussabdruck“ von Software zu erstellen. In dieser Metrik sollen Kriterien, wie Speicher- und Rechenzeitbedarf, Netzlast wie auch Modelle zur Messung von Softwarequalität, zur Vorgehensweise sowie der Lebenszyklusanalyse verwendet werden.

5 NACHHALTIGERE DATACENTER

Steht ein Um- oder Neubau eines Datacenters an, ist es wichtig, sich vom Projektstart an möglichst umfassend über die Best Practices zu informieren. Nie ist es einfacher und billiger, Änderungen vorzunehmen. Die meisten Leitfäden behandeln mehrere Gebiete, jedoch nicht immer in derselben Tiefe. An dieser Stelle wird auf die wichtigsten Best Practice Guides verwiesen. Die Konzepte werden in den Guides beschrieben.

Beim Neubau eines Datacentergebäudes sind Standards wie LEED (oder auch BREEAM) zu beachten, sie beinhalten spezielle Hinweise für Datacenter. Ist der Bau abgeschlossen, gehen die Standards aber nicht auf den eigentlichen Betrieb des Datacenters ein. Wird das Gebäude nach den Richtlinien eines ökologischen Gebäudestandards erstellt, hat dies zusätzliche positive Wirkungen, wie Schonung der Ozonschicht und verminderte CO₂-Emissionen.

Zur Optimierung des Betriebs stehen diverse Leitfäden zur Verfügung. Der Code of Conduct (EU CoC) ist eine der umfassendsten Sammlungen von Empfehlungen mit einer Gewichtung der einzelnen Punkte. Als Betreiber eines Datacenters kann dem CoC beigetreten werden, indem ein Umsetzungsplan vorgelegt wird. Man verpflichtet sich zu regelmässigen Strommessungen und Berichterstattung. In seiner tabellarischen Form eignet sich das Reporting-Excel zur Planung und Kontrolle. Der Beschrieb der einzelnen Punkte ist teilweise etwas knapp ausgefallen. Hier empfiehlt sich die Konsultation anderer Leitfäden, wie beispielsweise dem Best Practice Guide des Federal Energy Management Programs (FEMP 2011), welcher etwas mehr Gewicht auf Lüftung und Kühlung legt. Um wirklich effiziente Geräte mit einem guten Verhältnis von Leistung zu Stromverbrauch anzuschaffen, sind bei der Evaluation unbedingt die SPECpower Benchmarks zu berücksichtigen⁵. Der faire Einkauf nach sozialen und ökologischen Kriterien ist in Buy IT Fair (BuyITfair 2009) gut beschrieben und enthält Muster für Ausschreibungstexte.

Nicht vergessen werden darf der Bezug von erneuerbarem Strom. In den Leitfäden wird dieser Punkt teilweise vergessen.

Einen grossen Einfluss hat bessere Software, Lean Software. Die Umsetzung ist aber kein leichtes Unterfangen. Der Punkt kann bei Neuanschaffungen von Software über die Ausschreibungen beeinflusst werden, indem der Hersteller die Leistungsfähigkeit des Servers, der anfallenden Speichermenge und des Datenverkehrs angeben muss. Die Bewertung muss natürlich dementsprechend diese Punkte auch gewichten. Bei

⁵ Die Beschaffungskriterien des Bundes hingegen sind nicht auf dem neusten Stand (ISB Server).

bestehender Software ist das Thema über eine kritische Betrachtung von Bedarf an Redundanz (Sicherheitsbedürfnissen) und Speicherbedarf (Löschen von alten Backups etc.) anzugehen. Neue Software muss mindestens gleich effizient sein wie die alte, also gleich sparsam mit Memory, CPU und Speicherplatz umgehen. Hier sind die IT Fachleute gefragt. Es liegt an ihnen, entsprechende Software zu schreiben, zu evaluieren und zu beschaffen. Die Beschaffenden wären dahingehend zu unterstützen, dass die Effizienz der Software anhand einer Metrik auch ausgewiesen werden kann. Hier besteht zurzeit Forschungsbedarf.

Die korrekte Lüftung und Kühlung ist eine Wissenschaft für sich. Erstens ist das Datacenter in Räume mit unterschiedlichen Temperatur- und Feuchteanforderungen einzuteilen, danach die Gänge in Warm- und Kaltgänge. Die Server sind mit der entsprechenden Luftzugsrichtung einzubauen und falls nötig sind offene Luftzüge abzudecken. Mit Hilfe einer durchgehenden Temperaturüberwachung aller Racks und Server sind heiße Racks zu identifizieren und Last in andere Racks umzuverteilen. Je höher die Eintrittstemperatur in einen Server ist, desto stärker müssen die Ventilatoren drehen, was einen unnötigen Energieverbrauch darstellt. Wenn immer möglich, ist Aussenluft zur Kühlung einzusetzen, welche erwärmt direkt wieder an die Umgebung abgegeben wird.

Ein nicht zu unterschätzender Faktor ist die Anforderung der Server an die relative Feuchtigkeit. Dieser Prozess kann sehr viel Strom verschlingen, vor allem wenn das erlaubte Feuchteband sehr eng ist (z. B. 45 – 55 %). Neue Hardware sollte einen Bereich für relative Feuchte von 20% bis 80% und eine Betriebstemperatur wird 10°C bis 35°C⁶ erlauben. Ein Optimum wird heute erreicht, indem strikt Warmluft von Kaltluft getrennt wird sowie die warme Abluft an einem anderen Ort Verwendung findet, beispielsweise in der Warmwasservorerwärmung.

Die Optimierung eines Datacenters ist ein dauernder Prozess und keine einmalige Aktion. In regelmässigen Abständen, vielleicht einmal im Jahr, sollten alle Punkte neu betrachtet werden. Sehr wichtig ist die Kommunikation mit allen Beteiligten. Es muss allen klar sein, dass der Stromverbrauch ein wichtiges Kriterium ist und dass aus diesem Grunde nicht alle Wünsche berücksichtigt werden. Eine regelmässige Diskussion unter allen Beteiligten kann auch als Chance angesehen werden, die Kommunikation allgemein zu verbessern: Warum eine uralte Maschine weder abgeschaltet noch virtualisiert werden kann, wieso ein Netzwerkgerät die Redundanz nicht wie gewünscht implementiert oder

⁶ Eine Stichprobe bei Dell zeigte, dass der PowerEdge R410 die vom EU Code of Conduct empfohlenen Werte 10 – 35°C und 20% - 80% einhält.

wieso man gewisse Daten eben doch nicht löschen kann.

Das Datacenter erfüllt keinen Selbstzweck, es sind die Bedürfnisse der Benutzer Anwender und Kunden, die mittels Hardware befriedigt werden. Und die Nutzer müssen sich im Klaren werden, dass eine effiziente Hardware und ein Datacenter mit einem tiefen PUE noch lange nicht nachhaltig sind. Der Benutzer spielt eine entscheidende Rolle, indem nicht einfach alle Software, welche schön, toll oder scheinbar nützlich oder nötig ist, installiert wird, sondern er sich auf das Nötigste beschränkt, davon nur die effizienteste Softwareversion beschafft und den Nutzen und die Art und Weise der Benutzung regelmässig kritisch hinterfragt. Da die Herstellung der Hardware ein zentrales Problem darstellt, ist an diesem Punkt auch mit grossem Verbesserungspotential zu rechnen. Die zirkuläre Abhängigkeit von „neue Software verlangt nach schnellerer Hardware“ und „neue Hardware erlaubt neue, grössere Software“, welche gleichzeitig den grossen Erfolg und Misserfolg der IT darstellen, führt zu den kurzen Lebenszyklen der Hardware.

Der Gesetzgeber könnte mit einer Verteuerung der Geräte ein wenig Steuerung in Richtung längerer Lebenszyklus geben und mit einer Anschreibpflicht des Energieverbrauchs für Server die Selektion von effizienteren Geräten erleichtern.

Einen indirekten, positiven Einfluss auf die nachhaltige Entwicklung bei den Datacentern werden internationale Reporting Standards wie Global Reporting Initiative (GRI) oder Greenhouse Gas Protocol haben. In einem nach GRI Standard verfassten Umweltbericht werden unter anderem die Treibhausgasemissionen und der Stromverbrauch aufgeführt. Basierend auf diesen Zahlen vergleichen Finanzanalysten Firmen und erarbeiten Entscheidungsgrundlagen für alternative Investments. Ein effizientes Datacenter vermag ein Unternehmen in einem positiveren Licht erscheinen lassen.

6 SCHLUSSFOLGERUNG

Standardisierte Beurteilungen nach Kriterien der nachhaltigen Entwicklung existieren nicht. Erstaunlicherweise fehlen sogar gute technische Grundlagen zur energetischen Beurteilung von Datacentern. Die vorhandenen Benchmarks des Green Grids überzeugen nicht, da unter anderem Verbesserungen im Stromverbrauch zu schlechteren Werten führen können. Die umweltrelevante Dimension könnte mittels einer Lebenszyklusanalyse am besten erfasst werden. Weil aktuell jedoch nur sehr wenige und veraltete Computerhardware in den Datenbanken für Lebenszyklusanalysen vorhanden sind, müssen die Resultate sorgfältig analysiert werden, um die Fehler dieser Ungenauigkeiten abschätzen zu können, oder besser, Serverhardware nacherfasst werden. Dass der

Stromverbrauch in der Nutzungsphase die grösste Umweltwirkung darstellt, konnte nicht verifiziert oder widerlegt werden, scheint aber plausibel. Zur Zertifizierung stehen auch Labels oder Codes of Conduct zu Verfügung. Da sie aber meist auf den Metriken des Green Grids basieren, ist die Aussagekraft beschränkt. Diverse Leitfäden zur energetischen und umweltrelevanten Optimierung von Datacentern existieren und können teilweise gratis vom Internet heruntergeladen werden. Das Hilfsmittel vom Bund, die „Nachhaltigkeitsbeurteilung nach Monet“, ist nicht geeignet, um ein Datacenter umfassend zu beurteilen.

Der Stromverbrauch der ICT ist mit 1 bis 2% am Gesamtverbrauch nicht unbedeutend. Die Meinungen, ob dank Datacentern und Cloud-Diensten zukünftig die Anzahl Server und der Stromverbrauch abnehmen werden oder nicht, divergieren stark.

Gedanken zur Nachhaltigkeit von Datacentern sind wichtig, da diese für diverse Umweltwirkungen sowie soziale Probleme verantwortlich sind. Ein Datacenter wird nie nachhaltig sein, aber die Nicht-Nachhaltigkeit lässt sich stark verbessern, wenn alle Akteure an einer Verbesserung interessiert sind und sich intensiv daran beteiligen. Auf technischer Seite sind dies energieeffiziente Geräte und optimierte Kühlanlagen, welche kalte und warme Luftströme trennen und anfallende Wärme weitenutzen. Der Einsatz von Lean Software ist ein wichtiger Grundstein, die Lebensdauer der Hardware zu verlängern. Auch eine geringere Anspruchshaltung der Benutzer, welche nicht unmittelbar die neueste Generation Software verlangt, würde mithelfen, die Hardware länger in Betrieb zu halten. Ein Suffizienzverhalten der Benutzer ist heute nicht auszumachen.

Eine Besteuerung der Energie würde die Optimierungsaufwände am Datacenter finanziell interessanter gestalten. Wegen des tiefen Strompreises dürften sich heute nur ein Teil der Aufwände zur Optimierung eines bestehenden Datacenters rechnen. Mit einer mässigen Erhöhung des Schweizer Strompreises – in etwa auf europäisches Niveau – lohnten sich weitere Optimierungen an Datacentern, ohne dass vermutet werden muss, die Datacenter würden durch solche aus Ländern mit „dreckigerem“ Strom ersetzt. Ein obligatorischer Effizienzausweis für Hardware könnte eine Hilfestellung bei der Gerätebeschaffung bieten.

Ein Datacenter hat nur eine geringe Wirkung auf soziale Aspekte. Auf der einen Seite ist es Grundlage für Software, welche Kommunikation fördert, Behinderten gewisse Arbeiten erleichtert oder Telearbeit ermöglicht, andererseits verstösst ein Teil der Hersteller von Hardware gegen Verbote der Kinderarbeit oder die Arbeiten geschehen unter menschenunwürdigen Bedingungen.

Datacenter fördern die Wirtschaft, indem sie IT Innovationen ermöglichen. Die Effekte sind vielfältig, von effizienteren Abläufen bis zu neuen Produkten. Sie sind ein fixer Teil unserer IT Infrastruktur und dürften in absehbarer Zeit nicht wieder verschwinden.

Der kaum zu bestreitende globale wirtschaftliche Nutzen, die unterschiedlichen sozialen Wirkungen und die Umweltschäden müssen sorgfältig gegeneinander abgewogen werden. Der Realitätssinn muss dahingehend gewahrt werden, als dass der wirtschaftliche Nutzen nur solange Bestand haben kann, als die Umwelt die Lasten zu tragen vermag. Eine Steigerung der Wirtschaftsleistung ohne Verbesserung von Umweltproblemen stellt keinen Erfolg dar.

„Ich erkläre hiermit, dass ich die Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Quellen entnommen sind, habe ich als solche gekennzeichnet. Mir ist bekannt, dass andernfalls die Arbeit mit 'nicht erfüllt' bewertet wird und dass ggf. ein bereits ausgestelltes Zertifikat Nachhaltige Entwicklung vom Forum für Allgemeine Ökologie für ungültig erklärt werden kann.“

Bern, 7. Januar 2012

Rainer Burki

7 LITERATURVERZEICHNIS

- ARE NHB Bundesamt für Raumentwicklung, NHB Excel Tool,
http://www.aren.admin.ch/themen/nachhaltig/00270/03005/index.html?lang=de&download=NHzLpZeg7t,lnp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yug2Z6gpJCDfXx4fmym162epYbg2c_JkbnOkSn6A-- (01.08.2012)
- BAFU Strommix Bundesamt für Umwelt, *Wie klimafreundlich ist Schweizer Strom*,
http://www.bafu.admin.ch/klima/09608/index.html#sprungmarke0_28 (14.08.2012)
- BestPractice CoC-EU 2012, Liam Newcombe, Joint Research Centre, *2012 Best Practice for the EU Code of Conduct on Data Centres*,
http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/pdf/CoC/Best%20Practices%20v3%200%208%20_2_%20final%20release%20Dec%202011.pdf (11.12.2012)
- BREEAM BREEAM, *New Construction: Data Centres*, <http://www.breeam.org/page.jsp?id=157>
- BuyITfair 2009 Weltwirtschaft, Ökologie & Entwicklung (WEED), *Buy IT fair*, 2009, www2.weed-online.org/uploads/leitfaden.pdf (01.08.2012)
- CSC 2012, Swiss Center for Scientific Computing, *Cray XE6 System – Rosa*,
http://user.cscs.ch/hardware/monte_rosa_cray_xe6/index.html (29. 12. 2012)
- DistComp 2012, Wikipedia, *List of distributed computing projects*,
http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_distributed_computing_projects (29.10. 2012)
- Ecolinfo Synthèse ACV Ecoinfo, *Synthèse des résultats d'ACV de PC fixes*,
<http://www.ecoinfo.cnrs.fr/spip.php?article161> (14.08.2012)
- EPA 2007 Environmental Protection Agency, *EPA Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency*, 2007,
http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/EPA_Report_Exec_Summary_Final.pdf?00c0-bd61
- EPA-top 2011 Environmental Protection Agency, *TOP 12 WAYS TO DECREASE THE ENERGY CONSUMPTION OF YOUR DATA CENTER*,
- EU CoC Joint Research Centre, *EU Code of Conduct for Data Centres*,
http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/html/standby_initiative.htm (28.12.2012)
- Eugster et al, 2007 Eugster M, Hischer R, Duan H. *Key Environmental impacts of the Chinese EEE-industry*. 2007
- FEMP 2011, Federal Energy Management Program, *Best Practice Guide for Energy-Efficient Data Center Design*, <http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/eedatacenterbestpractices.pdf>
(03.08.2012)
- Fujitsu-LCA 2010 Fujitsu, *White Paper Life Cycle Assessment and Product Carbon Footprint Fujitsu ESPRIMO E9900 Desktop PC*, 2010, <http://globalsp.ts.fujitsu.com/dmsp/Publications/public/wp-LCA-PCF-ESPRIMO-E9900.pdf> (04.08.2012)
- Greenpeace 2010 Greenpeace, *Make IT Green*, 2010,
<http://www.greenpeace.org/international/en/publications/reports/make-it-green-cloud->

[computing/](#)

- Greenpeace 2112 Greenpeace, How clean is your Cloud, 2012,
<http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2012/iCoal/HowCleanisYourCloud.pdf> (28.08.2012)
- GreenSW Modell 2010 Fachhochschule Trier, Referenzmodell „Grüne Software“, <http://www.green-software-engineering.de/de/referenzmodell.html> (20.10.2012)
- ISB Server Informatikrat Bund, P025 - Ressourcen- und Umweltstandard für die Beschaffung der IKT-Infrastruktur. Version 1.0, Beilage 4,
http://www.isb.admin.ch/themen/standards/alle/03235/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7tInp6l0NTU042l276ln1acy47n472qZpnO2Yua2Z76gpJCEdX19fGym162epYbg2c_JjKbNoKS n6A--&t=.pdf, (20.08.2012)
- Koomey, Jonathan, GROWTH IN DATA CENTER ELECTRICITY USE 2005 TO 2010, 2008,
<http://www.mediafire.com/file/zzqna34282fr2f/koomeydatacenterelectuse2011finalversion.pdf> (27.08.2012)
- Koutitas 2010 G. Koutitas, P. Demestichas, Challenges for Energy Efficiency in Local and Regional Data Centers, River Publishers, http://researchwebsites.com/uploads/104_article1_1.pdf (11.10.2012)
- LEED U.S. Green Building Council, LEED, <http://www.usgbc.org/leed> (28.12.2012)
- MeasurePUE 2011, Data Center Taskforce, Recommendations for Measuring and Reporting Overall Data Center Efficiency, Version 2 – Measuring PUE for Data Centers,
http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/Data_Center_Metrics_Task_Force_Recommendations_V2.pdf (01.10.2012)
- OSS Watch OSS Watch, Software Sustainability Maturity Model, <http://www.oss-watch.ac.uk/resources/ssmm.xml> (23.10.2012)
- PikeResearch 2010, Pike Research, Pressrelease Cloud Computing to Reduce Global Data Center Energy Expenditures by 38% in 2020, <http://www.pikeresearch.com/newsroom/cloud-computing-to-reduce-global-data-center-energy-expenditures-by-38-in-2020> (28.08.2012)
- REMODECE 2008 Union Européenne, Energetech, Mesure de la consommation des usages domestiques de l'audiovisuel et de l'informatique Projet REMODECE, 2008
- StromCH 2011, Bundesamt für Energie BFE, Stromverbrauch 2012 um 2,0% gesunken, Medienmitteilung <http://www.news.admin.ch/message/index.html?lang=de&msg-id=44193> (10.10.2012)
- TGG-ERE 2010 The Green Grid, A Metric for Measuring the Benefit of Reuse Energy from a Data Center, http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/ERE_WP_101510_v2.pdf?lang=en (01.10.2012)
- TGG-CUE 2010 The Green Grid, Carbon Usage Effectiveness (CUE) A Green Grid Data Center Sustainability Metric,
<http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/CarbonUsageEffectivenessWhitePaper20101202.ashx?lang=en> (02.10.2012)

TGG-DCcE 2010 The Green Grid, *The Green Grid Data Center Compute Efficiency Metric*,
http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/DCcE_White_Paper_Final.pdf?lang=en
 (02.10.2012)

TGG-DCeP 2008 The Green Grid, *A Framework for Data Center Energy Productivity*,
<http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/WhitePaper13FrameworkforDataCenterEnergyProductivity5908.pdf?lang=en> (02.12.2012)

TGG-ProxyProposal 2009 The Green Grid, *WP#17-Proxy Proposals for Measuring Data Center Productivity*,
<http://www.thegreengrid.org/en/Global/Content/white-papers/Proxy-Proposals-for-Measuring-Data-Center-Efficiency> (30.10.2012)

TGG-ProxyFeedback 2009 The Green Grid, *Productivity Proxy Proposal Feedback*,
http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/White%20Paper%2024%20-%20Productivity_Proxy_Proposals_100509.pdf?lang=en (30.10.2012)

TUM sustainability Technische Universität München, *Sustainable Software*,
<https://sustainability.wiki.tum.de/Sustainable+Software> (18.10.2012)

Vertatique LEED-NC Vertatique, *LEED-NC No Guarantee of Data Center Operating Efficiency*,
<http://www.vertatique.com/leed-buildings-no-guarantee-of-energy-efficiency> (16.08.2012)

8 ABBILDUNGEN

Abbildung 1 SPECpower Resultatgrafik.....	14
Abbildung 2 Sustainable Software (TUM sustainability)	16

9 TABELLEN

Tabelle 1 Relevanz und Wirkungen	30
Tabelle 2 Messgrößen des Green Grid	31

10 ABKÜRZUNGEN

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
BAFU	Bundesamt für Umwelt
CAS	Certificate of Advanced Studies
CPU	Central Processing Unit, Prozessor
CoC	Code of Conduct
CSCS	Swiss National Supercomputing Centre
CUE	Carbon Use Effectiveness
DC	Datacenter
DCeP	Data Center energy Productivity
EPA	Environmental Protection Agency
EU	Europäische Union
GRI	Global Reporting Initiative
GWP	Global Warming Potential
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning, dt.: Heizung, Lüftung, Klimatechnik (HLK)
IC	Integrated Circuit, Computer Chip
ICT	Information and Communication Technology
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
ISB	Informatikstrategieorgan Bund
IP	Internet Protocol
IT	Information Technology
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
LCA	Lifecycle Analysis
NHB	Nachhaltigkeitsbeurteilung
PUE	Power Usage Effectiveness
PC	Personal Computer
TFLOPs	Tera Floating Point Operations, 1000 Milliarden Gleitkommarechnungen pro Sekunde
TWh	Tera Wattstunden, 10^{12} Wattstunden
UPS	Uninterruptible Power Supply, (dt. unterbrechungsfreie Stromversorgung USV)
USV	unterbrechungsfreie Stromversorgung (engl. UPS)

11 ANHANG

11.1 ANHANG 1 RELEVANZ UND WIRKUNGEN

Umwelt	Relevanz	Wirkung
Beschaffung IT	Energieeffiziente Server (Prozessor mit hohem Verhältnis Leistung zu Watt, Netzteil mit hohem Wirkungsgrad, hardwareunterstützter „power-saving-mode“)	Reduktion des Stromverbrauchs -> CO ₂ -Ausstoss
	Geräte für erweiterten Temperatur- und Feuchteinsatz beschaffen	Die Luft soll möglichst nicht ent- oder befeuchtet werden müssen, dies spart Energie der Klimaanlage -> CO ₂ -Ausstoss.
	Vermeiden von giftigen Chemikalien in Komponenten (RoHS)	Reduktion giftiger Abfallstoffe in der Entsorgung (bleifreie Lötverbindungen, Quecksilber, Cadmium etc.). Die Verwendung dieser Produkte während der Produktion scheint in der EU Gesetzgebung nicht geregelt zu sein, in China und USA gelten unterschiedliche Gesetze.
	längere Nutzungsdauer der Server	Die Elektronikchips und Bildschirme enthalten seltene Metalle (seltene Erden), welche möglichst sparsam verwendet werden sollten.
Stromeinkauf	Bezug von ökologischem Strom	Reduktion des CO ₂ -Ausstosses
	effiziente USV anschaffen, Verzicht auf Bleibatterien und stattdessen Einsatz von Schwungrädern	Reduktion von giftigem Materialbedarf -> Biodiversität
Beschaffung Software	Motivierung des IT Personals zur Beschaffung von Lean Software (kleine CPU Last, weniger Speicherbedarf, kleiner Netzverkehr)	Reduktion von Rechner- und Storage-Hardware, reduzierter Stromverbrauch
Virtualisierung	Konsolidierung der Serverhardware auf weniger Server	Reduktion des Stromverbrauchs -> CO ₂ -Ausstoss reduzierter Materialverbrauch
	dynamische Lastumverteilung, damit Hardware ausgeschaltet werden kann (z.B. übers Wochenende)	Reduktion des Stromverbrauchs -> CO ₂ -Ausstoss
Lüftung/Kühlung	Eine optimierte Lüftung vermindert den Stromverbrauch.	

	Aufteilung der Gänge in warme und kalte Gänge	Reduktion des Stromverbrauchs -> CO ₂ -Ausstoss
	Innerhalb der Racks ist die Luftführung zu optimieren, damit sich warme und kalte Luft nicht mischt.	Reduktion des Stromverbrauchs -> CO ₂ -Ausstoss
	Verwendung von Aussenluft zum Kühlen	Reduktion des Stromverbrauchs -> CO ₂ -Ausstoss
	Raumaufteilung nach unterschiedlichen Temperatur- und Feuchtbereichen	Reduktion des Stromverbrauchs -> CO ₂ -Ausstoss
	Verwendung moderner Kühltechnologie (Umkehrosmose, sorption Chiller)	Reduktion des Strom- und Wasserverbrauchs
	Ausbau der Lüftung/Kühlung nur nach Bedarf, kein Vollausbau von Beginn weg	Reduktion des Stromverbrauchs/Material
Verkabelung	Verwendung PVC-freier/halogenfreier Kabel	Schutz der Ozonschicht
Unterschiedliche Ausfallsicherheiten implementieren	Bereiche/Racks ohne doppelte Stromversorgung und Netzanschlüsse (Server mit nur einem Netzteil anschaffen), denn nicht alle Server benötigen Redundanz, respektive die Redundanz wird anderweitig realisiert.	Reduktion des Material- und Stromverbrauchs
Standort des Gebäudes	Grabarbeiten wegen Anbindung mit Glasfaser an mehrere Netzwerkprovider	Akzeptanz in der Bevölkerung
	Müssen Stromleitungen/-masten erstellt werden?	Akzeptanz in der Bevölkerung
	Nähe zu natürlicher Kühlwasserversorgung	Reduktion Energieverbrauch
Bau	Gebäudestandard: Wird der Bau gemäss einem Nachhaltigkeitslabel erstellt (z.B. LEED Platinum)?	Einsatz von ökologischeren Baumaterialien (z.B. Recyclingbeton), weniger energieintensive Verarbeitung, Vermeidung Einsatz giftiger Materialien (Blei oder Kupfer), keine die Ozonschicht schädigenden Schaumstoffe, Schutz des Menschen durch Reduktion der VOC Konzentration in Werkstoffen und Farben. Fungizidfreie Aussenfarben oder -Putze, begrünte und kupfer- und bleifreie Bedachungen verbessern die Biodiversität. Partikelfilter an Dieselfahrzeugen verbessern die Gesundheit (Krebsreduktion). Einsatz von leichteren Fahrzeugen vermindert die

		Bodenverdichtung an Stellen, welche später wieder begrünt werden. Reduktion des Energiebedarfs, Schutz der Ozonschicht, Reduktion CO ₂ -Ausstoss, reduzierter Verlust an Biodiversität
Soziales		
Beschaffung Hardware	In den Ausschreibungsunterlagen ist auf ILO-Konvention zu verweisen (keine Zwangsarbeit, Kinderarbeit, Diskriminierung, existenzsichernde Löhne).	Förderung von Fair Trade, durch die Hebung der Arbeitsbedingungen und Löhne ist (langfristig) eine geringere Migration zu erwarten.
Integration involvierter Personen	grössere Änderungen mit allen involvierten Stellen gemeinsam absprechen	Werden Änderungen mit allen involvierten Stellen abgesprochen, fördert dies das Verständnis bei allen für Stromspar- oder Lüftungsmassnahmen.
Wirtschaft		
Innovation, Wettbewerbsfähigkeit	Ein Datacenter bietet die Möglichkeit, neue IT Dienstleistungen zu entwickeln und zu betreiben.	fördert die Wettbewerbsfähigkeit
	Produktivkapital	Für langlebige Komponenten, wie Racks oder Lüftung/Kühlung/Stromversorgung, qualitativ hochwertiges Material beschaffen; bei Servern ist ein schwieriger Entscheidungsprozess zu durchlaufen von neustem, teuersten Equipment und ca. 1-2 Jahre alten, deutlich billigeren, Geräten. Nach 6 bis 9 Jahren ist ein Server technisch veraltet.

Tabelle 1 Relevanz und Wirkungen

11.2 ANHANG 2 MESSGRÖSSEN: BENCHMARK, METRIKEN, ENERGETISCHE BETRACHTUNG

Der Energiecharakteristiken eines Datacenters werden heute meist anhand von Definitionen des The Green Grid Konsortiums angegeben. Am häufigsten wird der PUE angegeben, daneben existieren weitere Metriken, wie ERE, CUE oder DCP.

Abk.	Bezeichnung	Idealer Wert	Wertebereich
PUE	Power Usage Effectiveness	PUE = 1.0: 100% der dem DC zugeführten Energie wird durch die IT verbraucht.	1 < PUE < unendlich sehr gut: 1.1 Durchschnitt: ca. 2

ERE	Energy Reuse Effectiveness	ERE = 0: 100% der dem DC zugeführten Energie wird anderswo weiterverwendet.	0 < ERE < unendlich
CUE	Carbon Usage Effectiveness [kgCO ₂ /kWh]	CUE = 0.0: Kein CO ₂ wird bei der Stromproduktion emittiert.	CUE > 0
WUE	Water Usage Effectiveness	WUE = 0. Kein Wasserverbrauch zur Kühlung (reine Luftkühlung des DC)	WUE > 0
WUE _{source}	Water Usage Effectiveness including power source	WUE _{source} = 0: Es wird weder bei der Stromerzeugung noch im Datacenter Wasser benötigt, z.B. 100% Photovoltaikstrom und ultra-effizientes DC	WUE _{source} > 0
DCeP	DC energy Productivity	Einheit: Tasks/kWh	DCeP > 0
DCcE ScE	DC compute Efficiency / Server compute Efficiency	100%: Es laufen ausschliesslich primäre (=wichtige) Tasks.	0 – 100%

Tabelle 2 Messgrössen des Green Grid

11.2.1 Power Usage Effectiveness PUE

Der Energieverbrauch eines Datacenters wird als Power Usage Effectiveness (PUE) gemäss der *Data Center Metrics Coordination Taskforce* (1) gemessen. Die dimensionslose Zahl beschreibt das Verhältnis von Gesamtenergieverbrauch im RZ zum Verbrauch der IT-Systeme (kWh / kWh).

$$PUE = \frac{\text{Gesamtenergieverbrauch des RZ}}{\text{Energieverbrauch IT}} \geq 1,0$$

oder:

$$PUE = (\text{Kühlung} + \text{Strom} + \text{Licht} + \text{IT}) / \text{IT}$$

IT: Es ist die Gesamtenergie von IT-Servern, Storage und Networking gemeint (MeasurePUE 2011, S.2).

Die Zahl PUE ist immer grösser 1 und je näher die Zahl bei 1 liegt, desto kleiner ist der Anteil der Umsysteme wie Lüftung und Kühlung und desto besser das Datacenter.

Wo der Strom gemessen wurde, wird anhand einer Messkategorie angegeben: direkt am Ausgang der unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV, engl. UPS), an der Verteilschiene im Rack (PDU) oder direkt am IT Gerät. Die Messung direkt am Gerät ist die genaueste, aber auch aufwändigste Methode. Vorsicht ist geboten vor PUE Angaben,

welche vor 2011 ermittelt und kommuniziert wurden. Die alte PUE ermittelte die Leistung in kW, neu wird die jährliche Energiemenge in kWh gemessen. Neuere PUE Angaben müssen zur besseren Unterscheidung mit der Kategorie als Index dargestellt werden: PUE₁, PUE₂, PUE₃. Weiterhin als Leistung in kW wird PUE₀ berechnet⁷. PUE ist also neu ein falscher Name, denn es sollte EUE für Energy Use Efficiency heissen.

Kritik

Trotz der nun eingeführten Kategorien ist der Vergleich von Datacentern nicht problemlos, da nicht sicher ist, wie genau die Messungen durchgeführt wurden. „Der grösste Nutzen liegt darin, mit konsistenten Messungen eine Metrik für die Verbesserungen der eigenen Infrastruktur zu bekommen.“ (Bitkom 2011, S. 9)

Durch eine Optimierung (Reduktion) der IT Server wird ein schlechterer PUE resultieren, wenn die Kühllast nicht gleichzeitig um denselben Betrag reduziert werden kann. Das neue Datacenter wäre trotz schlechterem PUE besser, da der Gesamtstromverbrauch abgenommen hätte. Der PUE darf daher nicht in einer Zielvereinbarung verwendet werden, da sonst möglicherweise Optimierungen nicht durchgeführt würden oder sie sich einseitig auf die Kühlung fokussieren könnten.

Die Netzwerkgeräte und die Management-Server, welche die operativen Server überwachen, werden zur IT hinzugezählt. Bei der Berechnung des PUEs werden immer auch diese zusätzlichen Geräte miteinbezogen. Dies impliziert, dass diese Geräte nützliche Arbeit in dem Sinne leisten, dass sie die eigentlichen Aufgaben des Datacenters lösen⁸. Mit einem Netzgerät lässt sich jedoch nicht rechnen. Die Geräte der Überwachung (Management) und die Netzwerkinfrastruktur erfüllen eine ähnliche Aufgabe wie die Kühlung: Sie sind nötig, verrichten aber keine produktive Arbeit.

11.2.2 Energy Reuse Efficiency ERE

PUE berücksichtigt nicht, wieviel Energie weiterverwendet wird. So kann Abwärme, welche Warmwasser oder ein anderes Gebäude erwärmt, nicht in die Berechnung des PUEs miteinbezogen werden. Diesen Mangel hat man bei ERE berücksichtigt (nebst dem Wechsel im Namen von Power auf Energy). ERE ist eigentlich dasselbe wie PUE, nur wird

⁷ Hingegen darf nicht mehr die kleinste Leistung, beispielsweise während einer kalten Winternacht, sondern es muss die grösste Messung verwendet werden.

⁸ Ohne Überwachungsserver laufen die IT-Server weiter. Für den Betreiber resultiert zwar ein unangenehmer Blindflug, weil er nicht weiss, ob nebst seinen Überwachungsservern sonst noch Geräte abgestürzt sind, ein Kunde wird aber nichts bemerken, solange seine Server weiterlaufen.

die anderswo genutzte Energie von der Gesamtenergie subtrahiert. ERE kann somit kleiner 1 sein, im Idealfall ist sie 0: Sämtliche dem Datacenter zugeführte Energie (Strom) wird anderweitig wiederverwendet (als Wärme). ERE ist die aussagekräftigere Zahl, wird jedoch heute noch kaum benutzt. The Green Grid hat das Dokument zu ERE erst 2010 veröffentlicht (TGG-ERE 2010, S. 8).

11.2.3 Carbon Usage Effectiveness CUE

Diese vom Green Grid vorgeschlagene Metrik gibt den Ausstoss in CO₂-Äquivalenten des Gesamtenergieverbrauchs (Stromerzeugung) im Verhältnis zum Verbrauch der IT an. Die Dimension ist kgCO₂/kWh.

$$\text{CUE} = \text{Gesamt-CO}_2 \text{ Ausstoss} / \text{Energie der IT}$$

Ein ideales Datacenter hat einen CUE von 0, also keinen CO₂ Ausstoss. Die Definition des CUEs ist nach Angaben des Green Grids ein erster Schritt und diverse Punkte müssen noch behandelt werden. Der CUE gemäss TGG-CUE (2010) berücksichtigt keine Wiederverwendung der Energie (Reuse, siehe ERE), keine CO₂ Handelsprogramme und macht auch keine Lebenszyklusanalyse der eingesetzten Geräte oder des Gebäudes.

11.2.4 Water Use Effectiveness WUE

Wasser ist ein wertvolles Gut, das ebenso wenig wie Energie verschwendet werden darf. Das Green Grid definiert nun zwei Metriken, die den Verbrauch von Wasser pro IT Energieverbrauch messen.

Der Wasserverbrauch des Datacenters hängt primär von den Kühlmethoden ab. Ein Wasser verdampfender Kühlturm verbraucht mehr Wasser als eine reine Luftkühlung. Die Einsparung von Wasser kann aber sehr wohl in einem höheren Energieverbrauch resultieren, wenn beispielweise der Kühlturm mit einer entsprechend starken Luftkühlung ersetzt wird. Daher wird bei WUE_{source} zusätzlich der Wasserverbrauch bei der Stromerzeugung miteinberechnet.

In der Schweiz ist der Wert wohl weniger zentral. Sollte der WUE ausgewiesen werden, so sicher in Kombination mit WUE_{source} und CUE. Die Schweiz hat einen hohen Anteil an Wasserstrom, was den WUE_{source} erhöht, den CUE dafür verkleinert. Eine aussagekräftige Metrik, welche alle Werte umfasst, muss erst noch erarbeitet werden.

11.2.5 Kühlung: RCI, RTI, HVAC, Airflow

In FEMP (2011, S.18ff) werden weitere Metriken zur Messung der Lüftung und Kühlung beschrieben, welche hier nicht weiter beschrieben werden.

11.2.6 Datacenter Produktivität DCP

Die in den vorherigen Kapiteln diskutierten Metriken haben gemeinsam, dass nicht berücksichtigt wird, ob der Server überhaupt etwas Sinnvolles oder Brauchbares rechnet. Beantwortet der Webserver wirklich Anfragen nach Webseiten oder läuft vielleicht nur ein Hilfsprogramm, welches die Grösse von Logfiles oder anderem überwacht?

Dass die Bewertung eines Datacenters nur anhand des Stromverbrauchs der Server zu kurz greift, ist erkannt und wird erforscht. Eigentlich möchte man die Produktivität eines Datacenters messen. Produktivität wird allgemein als Verhältnis von produziertem Gut zu eingesetzten Gütern verstanden. In TGG-DCeP (2010 S.8) definiert das Green Grid die Produktivität eines Datacenters als „produzierte nützliche Arbeit pro eingesetzte kWh“, als die Data Center energy Productivity (DCeP).

Die Einteilung der verschiedenen Prozesse in produktive und nicht produktive ist aber stark subjektiv (vgl. TGG-ProxFeedback). Wenn ein Mailserver betrieben werden soll, sind dann die Antiviren- und Antispam-Software unproduktiv, weil sie nicht wirklich für den Mailversand benötigt werden? Die Meinungen divergierten so stark, dass alle vorgeschlagenen, die Messung der Produktivität vereinfachenden Indikatoren allesamt wieder verworfen wurden. Diese Indikatoren reichen von Messung der CPU Utilization über Benchmarks, wie SPECint und SPECpower, bis zur Messung der vom Server ausgesendeten Bits pro Energieverbrauch.

Die Beantwortung der Frage, wie gross der prozentuale Anteil der sinnvollen Arbeit eines Servers sei, ist etwa so schwierig wie die Antwort nach dem Anteil sinnvoller Autofahrten.

11.2.7 Greenpeace Clean Energy Index

In Anbetracht von fehlenden Daten der grossen Datacenterbetreiber hat Greenpeace einen eigenen Index erstellt, welcher den Bezug der elektrischen Leistung abschätzen sowie den Anteil erneuerbarer Energie angeben soll. Zusammen mit weiteren Faktoren, wie Transparenz der Energiebezüge, Auswahl der Datacenter Lokationen nach dem Vorhandensein erneuerbarer Energien, Strategien bezüglich der Vermeidung von Treibhausgasemissionen sowie ihrem Einsatz auf politischer Ebene für erneuerbare Energien. In Greenpeace (2012) sind die Resultate der Grossen, wie Google, Apple, HP, IBM etc., wiedergegeben.

11.3 ANHANG 3: ABSCHÄTZUNG CO₂E-AUSSTOSS IN DER NUTZUNGSPHASE

Nimmt man an, dass ein Server beispielsweise durchschnittlich 200 Watt (0.2 kW) verbraucht und fünf Jahre nonstop in Betrieb bleibt, produziert er bei einem Schweizer

Strommix (133 gCO_{2e}/kWh): $5 * 365 * 24 \text{ (h)} * 0.2 \text{ (kW)} * 0.133 \text{ (kgCO}_2\text{/kWh)} = 1165 \text{ kg CO}_2\text{-Äquivalente}$. Dies entspricht in etwa der geschätzten Menge an CO_{2e} der Produktion. Man sieht, dass sich das Verhältnis markant mit der Leistung des Servers ändert. Bräuchte der Server 1000 W, was nicht aussergewöhnlich wäre, resultierte ein etwa fünffach höherer CO_{2e}-Ausstoss während der Betriebsphase. Hingegen würde ein effizienterer Server, welcher im Leerlauf nur ein Viertel Strom verbraucht, in seiner Lebenszeit womöglich nicht mehr Strom verbrauchen, als für die Herstellung aufgewendet wurde (unter der Annahme, dass er häufiger auch nicht ausgelastet ist). Diese Aussage gilt jedoch nur für die Schweiz. Der CO_{2e}-Ausstoss des untersuchten Büro-PCs während der Nutzphase hängt stark von der Art der Stromproduktion ab, wie dies in Fujitsu-LCA (2010 S.4) illustriert ist: Frankreich mit einem sehr hohen Anteil an Nuklearstrom hat einen siebenfach tieferen Ausstoss an CO_{2e} als Deutschland. Die teilweise geäusserte Aussage, ein PC produziere während des Betriebs gleich viel CO₂ wie bei der Herstellung, ist wohl nur für Deutschland gültig, in Frankreich (ähnlich der Schweiz mit einem Strommix „egal“ = ohne Ökostrom (Strommix BAFU) Anteil) resultiert ein deutlich tieferer Anteil CO₂ während des Betriebs. Kommt dazu, dass der PC (Fujitsu E9900) ein eher stromsparendes Modell ist und etwa halb so viel Strom verbraucht wie der durchschnittliche PC von 2008 in Frankreich (REMODECE 2008 S.53).