

Semesterarbeit

Cloud Computing und Energieeffizienz

Institut für Informatik
Universität Potsdam

eingereicht von:
Michael Winkelmann (738901)

Sommersemester 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	2
2	Energieverbrauch von Rechenzentren	4
2.1	Energie-effiziente Hardware	4
2.2	Lastverteilung und Abschalten nicht verwendeter Hardware	7
2.3	Konsolidierung und Virtualisierung	8
2.4	Optimierung der Kühlung	10
2.5	Einsparpotenziale	11
3	Energieverbrauch von Benutzerendgeräten	13
3.1	Hardwarekomponenten und Thin-Clients	13
3.2	Lebenszyklus	14
3.3	Optimierte Software	16
3.4	Einsparpotenziale	16
4	Cloud-Computing als Grundlage für ein Energieinformationsnetz	17
5	Ausblick	18

1 Einführung

Aufgrund des Klimawandels und steigender Strompreise bekommt das Thema Energiesparen und IT eine völlig neue Bedeutung. Im Laufe der Zeit hat sich dafür der Begriff „Green IT“ etabliert. Als *Green IT* bezeichnet man die ressourcensparende und umweltschonende Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologie sowie die Produktion, Arbeitsweise, Verwendung, Entsorgung und Recycling der dazugehörigen Endgeräte. Green IT war unter anderem ein zentrales Thema der CeBIT 2008, 2009 und 2010 (CG10).

Besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Gesamtenergieverbrauch der Geräte, der im Zuge der zunehmenden Technisierung und der rapide wachsenden Zahl an Endgeräte ständig steigt. So wurden zum Beispiel im Jahr 2003 etwa 6,8 Milliarden Kilowattstunden elektrischer Strom für den Betrieb des Internets benötigt, für das Jahr 2010 wird sich laut Schätzungen in Deutschland der Energiebedarf des Internets mit 31,3 Milliarden Kilowattstunden nahezu verfünffachen. Derzeit werden etwa 0,8 % der weltweiten Stromerzeugung für den Betrieb des Internets benötigt (Sha07). Darin einberechnet sind aber nur die Server und die Datenübertragung und nicht die Endgeräte. Mehrere Studien gehen davon aus, dass die anfallende CO₂-Menge der weltweiten IT in etwa dem CO₂-Ausstoß des internationalen Luftverkehrs entspricht. (Maz09)

Mit dem Sparen von Energie werden vor allem zwei Ziele verfolgt: Klimaschutz und Kosteneinsparung. Die aktuelle Klimaschutzdebatte hat das Aufkommen von Green IT beflügelt, allerdings sind Bestrebungen der Industrie für umweltschonende IT nicht neu. So gibt es zum Beispiel seit 1992 in den USA und seit 2002 auch in Europa den Energy Star, der elektrischen Geräten Stromsparkriterien bescheinigt. Diese Richtlinien werden regelmäßig überarbeitet und fortlaufend neuen technischen Gegebenheiten angepasst.

Der deutsche Branchenverband BITKOM hat bereits mehrere Initiativen und Studien zu Green IT initiiert. Zum Ende der CeBIT 2010 kritisierten mehrere Umweltverbände, dass der Energieeffizienz bei der Entwicklung von IT-Produkten immernoch zu wenig Beachtung geschenkt würde und immer noch keine einheitliche und verständliche Produktkennzeichnung zum Energieverbrauch gäbe.

Allerdings werden Bestrebungen zur Umweltfreundlichkeit und Energieeffizienz eher primär wegen hoher Kosteneinsparungen und aus Gründen des Firmenimages und des Verbraucherschutzes durchgeführt und nicht wegen des Umweltschutzes, wie der Name „Green IT“ verlauten lässt. Dieser Aspekt geht klar aus einer Studie von Forrester Research vom Juni 2009 hervor: „insbesondere Kostenfaktoren seien für das Interesse an Strom sparenden Lösungen verantwortlich“. (For09)

Durch Cloud Computing, dem Leitthema der CeBIT 2011 (CC11), gewinnt die Rolle des Internets zusätzlich an Bedeutung. Beim Cloud Computing werden dem Anwender über das Internet einzelne Dienste, wie Rechnen, Speichern oder Vernetzen zur Verfügung stellt und die dafür benötigten Ressourcen in Form von Servern von einem Anbieter extern bereitgestellt und verwaltet. Diese Server sind untereinander vernetzt und agieren als einzige „Wolke“ (engl.: Cloud) von Ressourcen (Win10). Das Hauptziel des Cloud-Computings ist es, informationstechnische Dienstleistungen flexibel und skalierbar nutzen zu können. Dieses Konzept ist von der Idee geprägt, Informationen, Dienste und Rechenleistung ähnlich der Vorsorgung mit Wasser und Strom aus einem entfernten Netz zu beziehen (BLK09).

Bei näherer Betrachtung der Leitthemen der CeBIT und der technischen Entwicklung der letz-

ten Jahre lassen sich drei eindeutige Trends feststellen:

- Der Bedarf an Rechenleistung und die Rechenleistung steigt sowohl auf Server- als auch auf Client-Seite weiterhin nach dem Mooreschen Gesetz an.
- Durch Cloud Computing wird die vorhandene IT-Infrastruktur und Datenverarbeitung immer weiter ins Netz ausgelagert.
- Das Betreiben der Endgeräte und der Infrastruktur soll möglichst energiesparend und der Gesamtenergiebedarf so gering wie möglich sein.

Als Konsequenz bedeutet das, dass wenn die Rechenleistung steigt und der Gesamtenergiebedarf gleich bleiben soll, die Energieeffizienz der Server und Endgeräte zwangsläufig steigen muss. Energieeffizienz bedeutet hierbei auch, dass sich die Quality of Service, das heißt die Zuverlässigkeit, Flexibilität und Nutzbarkeit der in der Cloud angebotenen Dienste nicht verschlechtern darf. Aus den drei vorher genannten Trends ergibt sich die Fragestellung, wie sich durch den Einsatz von Cloud Computing die Gesamtenergiebilanz und -effizienz der IT-Branche ändert und sich zukünftig entwickeln wird. Die vorliegende Semesterarbeit wird sich dieser Fragestellung widmen.

Die Datenverarbeitung findet beim Cloud Computing ähnlich wie beim Cluster Computing auf Servern in Rechenzentren statt. Um die in der Cloud angebotenen Dienste in Anspruch nehmen zu können, benötigt der Benutzer zwingend ein internet-fähiges Endgerät, im folgenden auch als Client bezeichnet. Mit diesem greift der Benutzer auf Dienste zu, steuert die Datenverarbeitung und empfängt die verarbeiteten Daten. Beim Cluster-Computing kann die Datenverarbeitung ausschließlich im Rechenzentrum stattfinden, weshalb die Endgeräte bei der Gesamtenergiebilanz eine eher untergeordnete Rolle spielen.

Deshalb spielen beim Cloud Computing im Gegensatz zum Cluster-Computing neben den Servern auch die Clients eine wichtige Rolle bei der Gesamtenergiebilanz, weshalb in den folgenden Abschnitten der Energieverbrauch *beider* Seiten und mögliche Einsparpotenziale beschrieben werden.

In Abschnitt 2 werde ich dazu analysieren, welche Faktoren den Energieverbrauch beim Cloud Computing am meisten beeinflussen und benenne anhand von Beispiel mögliche Einsparpotenziale. In Abschnitt 4 werde ich außerdem beschreiben, wie durch Cloud Computing selbst der Energieverbrauch gesenkt werden kann. Ausgehend von dieser Analyse Der abschließende Teil fasst die gewonnenen Erkenntnisse noch einmal zusammen und versucht, eine Prognose für den zukünftigen Energieverbrauch von Cloud Computing zu geben.

2 Energieverbrauch von Rechenzentren

Rechenzentren verbrauchen in der IT-Branche die meiste Energie und zusätzlich steigt deren Energiedichte und damit auch ihr Kühlungsbedarf stetig. In den USA lag beispielsweise bereits 2005 mit 5,2 Millionen Kilowattstunden der Anteil der Rechenzentren am Gesamtstromverbrauch bei 1,2 Prozent (Koo07), was der Leistung von fünf Kraftwerken entspricht.

Eine Studie des Borderstep-Instituts im Auftrag des Bundesumweltministeriums hat gezeigt, dass sich der Stromverbrauch von Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2008 im Vergleich zum Jahr 2000 nahezu verdreifacht hat. 2008 lag er schon bei etwa 10,1 Terawattstunden, was 1,8 Prozent des Gesamtstromverbrauchs entspricht. Die damit verbundenen Kosten beliefen sich auf rund 1,1 Milliarden Euro (FBCH09).

Dies zeigt, dass die Stromkosten ein nicht zu vernachlässigender Faktor für den Betrieb eines Rechenzentrums ist. Die Kosten für den dauerhaften Betrieb eines Servers und die Hardwarekosten des Servers amortisieren sich nach etwa 2 bis 3 Jahren (Gmb06).

Jedoch sind die Messwerte für den Stromverbrauch eher nur als Maß für eine ungefähre Größenordnung zu betrachten, denn es gibt keinen Standard für den Energieverbrauch, Energieeffizienz oder Leistungsmessung in einem Rechenzentrum. Daher können die tatsächlichen Werte durchaus abweichen.

In der Studie (FBCH09) wird erwartet, dass bis 2013 der Energieverbrauch um weitere 50 Prozent ansteigt, wenn Unternehmen an den bisherigen Praktiken beim Serverbetrieb festhalten. Jedoch ließe sich selbst bei kontinuierlich steigender Rechen- und Speicherleistung durch energiesparende Techniken und effiziente Kühlung der Verbrauch deutscher Rechenzentren auf die Hälfte senken. IBM geht davon aus, dass sich in größeren Rechenzentren bis zu 42 % des Stromverbrauchs einsparen lässt.

Die Energie wird dabei an unterschiedlichen Einheiten eines Rechenzentrums verbraucht, wie im Diagramm 1 dargestellt. Für jede Komponente ergeben sich dabei auch unterschiedliche Einsparpotenziale. Die vier wichtigsten Punkte, um Strom in einem Rechenzentrum zu sparen, lauten wie folgt:

1. Energie-effiziente Hardware.
2. Intelligente Lastverteilung und Abschalten nicht verwendeter Hardware.
3. Die Virtualisierung und Konsolidierung von Servern.
4. Optimierung der Kühlung.

Die vier Punkte werden im Folgenden näher betrachtet.

2.1 Energie-effiziente Hardware

Um die Energieeffizienz von Hardware zu bewerten, verwendet man Serverbereich die Maßeinheit Rechenleistung pro Volumen. Allerdings stößt man langsam an die physikalischen Grenzen, was die Größen von Chips angeht. Die Isolierungen zwischen den Leitungen sind mittlerweile so noch etwa fünf bis sechs Atomdurchmesser dünn.

Energieverbrauch eines Rechenzentrums

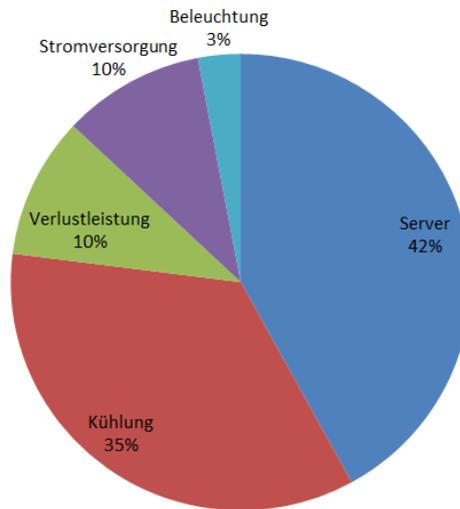


Abbildung 1: Eine ungefähre Zusammensetzung der Faktoren, die beim Energieverbrauch eines Rechenzentrums von Bedeutung sind. Werte entnommen aus (BGa09; SPa09)

Energieverbrauch eines einzelnen Servers

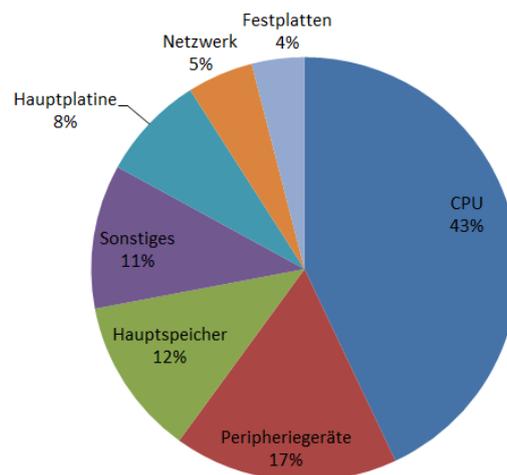


Abbildung 2: Anteile der einzelnen Hardwarekomponenten eines Servers am Energieverbrauch. Werte entnommen aus (BGa09; SPa09)

Beim einem Prozessor geht etwa Hälfte des Stroms geht durch den sogenannten Leckstrom verloren und weitere 25% durch die Taktversorgung. Somit verbleiben nur noch 25% des Stroms, die für die eigentlichen Berechnungen genutzt werden (Kie10). Um den Leckstrom zu minimieren und die Chips noch kleiner machen zu können, werden in Zukunft wahrscheinlich Nanostrukturen die aus Kohlenstoffketten bestehen, eingesetzt werden. Doch wie weit sich der Leckstrom dadurch reduzieren lässt, ist aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums dieser Technologie noch nicht genau vorhersehbar.

Für Prozessoren ist sinnvoll, dass ihre Taktfrequenz flexibel regulierbar ist, denn mit der steigender Taktfrequenz steigt auch kubisch der verbrauchte Strom. Die Leistung der Prozessoren bestmöglich auszunutzen, ist auch eine Frage der Software. Dieser Aspekt wird in Abschnitt 3.3 näher erläutert. Außerdem sollten alle Chips in Zukunft in der Lage sein, Teile ihrer Komponenten abschalten zu können, um so Strom zu sparen (siehe Abschnitt 2.2).

Für den Speicher können statt üblichen Festplatten auch Solid State Drives verwendet werden, die zwar energieeffizienter und schneller arbeiten, aber auch um ein Vielfaches teurer sind. Außerdem ist es sinnvoll, mehrere alte Festplatte mit geringer Speicherkapazität durch wenige große Festplatten mit hoher Speicherkapazität zu ersetzen. So verbrauchen beispielsweise drei 300GB-Platten viermal so viel Energie wie eine energieeffiziente 1TB-Festplatte (SPa09).

Ein weiterer wichtiger Faktor für Energieeffizienz sind die in den Server eingesetzten Netzteile. Das Netzteil ist die Rechnerkomponente, die alle anderen Komponenten mit Strom versorgt und daher ist hier ein Leistungsverlust besonders von Nachteil. Je mehr Eingangsleistung in Ausgangsleistung umwandelt wird und je weniger Abwärme dabei entsteht, desto effizienter arbeitet das Netzteil.

Um die Effizienz von Netzteilen einheitlich zu bewerten und Effizienzsteigerungen voran zu treiben, wurde die 80 PLUS Initiative ins Leben gerufen. Die internationalen Vertreter, die sie unterstützen sind Dell, HP, NEC und Hitachi. Damit ein Netzteil mindestens das Siegel 80 PLUS tragen darf, muss es bei einer Lastsituation von 20%, 50% und 100% mindestens eine Effizienz von 80% aufweisen (Hal10).

Auch durch spezialisierte Hardware kann Energie gespart werden. So wäre es beispielsweise denkbar, dass auf eine Art von Cloud-Services spezialisierte Server gibt, die spezielle Hardware und besonders für die Ausführung des jeweiligen Dienstes optimiert sind. Großrechner immer häufiger außerdem GPUs, die für gut parallelisierbare Aufgaben besser als gewöhnliche CPUs geeignet sind und zu dem energie effizienter arbeiten (LMW07).

Für die benötigte Hardware könnten dann beispielsweise FPGA-Chips entwickelt werden, die die für den Dienst notwendigen Berechnungen um ein Vielfaches schneller durchführen können. Solche FPGA-Chips kommen bereits für Live-Encodierung von Videos zum Einsatz, weil dieser Prozess sehr zeitkritisch und rechenaufwändig ist. Erhöhte Flexibilität wäre durch *Reconfigurable Computing* denkbar (CH02). Die Entwicklung eines FPGA ist jedoch sehr teuer und oft auch zu zeitaufwändig, weshalb spezialisierte Hardware nur in Ausnahmefällen zum Einsatz kommt. Flächendeckender Einsatz in Rechenzentren von spezialisierter Hardware sind somit ein reines Zukunftsszenario (SPa09).

Es ist schwierig, die mögliche Energieersparnis durch effiziente Serverhardware abzuschätzen. Wie in Diagramm 2 zu erkennen ist, werden durch die Server und die Verlustleistung zusammen über die Hälfte des Energieverbrauchs verursacht. Berücksichtigt man effiziente Netzteile, Prozessoren mit flexibler Taktrate und effiziente Speicherhardware, könnten sicherlich der Ge-

samtenergiebedarf um 25% gesenkt werden.

2.2 Lastverteilung und Abschalten nicht verwendeter Hardware

Wenn ein Server momentan nicht ausgelastet ist, kann durch das Heruntertakten und Abschalten von Prozessorkomponenten Energie gespart werden. Der Server läuft dann in einem Energiesparmodus. Auch einzelne Hardwarekomponenten wie Festplatte, Netzwerkadapter oder Hauptspeicher können in solche Energiesparmodi versetzt werden.

Mit *ACPI* wurde ein Industriestandard entwickelt, der die Energieverwaltung von Desktop-PCs, Notebooks und Servern vereinheitlicht. Firmen, die am Standard mitgewirkt haben, sind Hewlett-Packard, Intel, Microsoft, Phoenix Technologies und Toshiba. Der Standard definiert Schnittstellen zur Hardwareerkennung, Gerätekonfiguration und zum Energiemanagement (ACP09). Der wichtigste Aspekt des Standards sind die verschiedenen Energiesparmodi, in die sich ein Rechner versetzen lässt. Im Standard sind vier Zustände von G0 bis G3 festgelegt, die wie folgt definiert sind:

- **G0 (Working):** Der Rechner ist in vollem Betrieb und alle Komponenten sind einsatzbereit.
- **G1 (Sleeping):** Der Rechner befindet sich im Schlafzustand. Der Rechner ist ausgeschaltet, jedoch wurde sein Zustand zuvor auf einem nicht-flüchtigen Datenträger gespeichert. Beim Einschalten wird der Rechner wieder in den Ausgangszustand versetzt.
- **G2 (Soft Off):** Der Rechner ist in einem Zustand, in dem er nur noch sehr geringe Mengen an Energie benötigt. Um ihn funktionsfähig zu machen, muss er neu gestartet werden.
- **G3 (Mechanical Off):** Der Rechner ist von jeglichen Stromquellen getrennt. In diesem Zustand ist es möglich das Gerät auseinanderzunehmen und zu warten oder Komponenten zu ersetzen.

Der Zustand G1 wird dabei noch feiner unterteilt und es werden somit verschiedene Schlafzustände definiert. Jede tiefer der Schlafzustand ist, desto länger dauert es, den Rechner wieder in den Ausgangszustand zu versetzen. Der ACPI-Standard definiert neben den Schlafzustand für den gesamten Rechner auch für jede Hardwarekomponente insgesamt fünf Betriebszustände.

Die Standardisierung dieser Zustände ist insbesondere für Ressourcen-Managementsysteme (im folgenden mit RMS abgekürzt) von Bedeutung. Solche Systeme regeln die Aktivitätszustände der einzelnen Server in einem Rechenzentrum und versetzen ggf. nicht benötigte Rechner in den Schlafzustand. Damit ein solches RMS unabhängig von der Art der im Rechenzentrum eingesetzten Server arbeiten kann, sind diese Schlafzustände vereinheitlicht worden.

RMS werden für die Lastverteilung im Rechenzentrum benötigt. Beim Cluster Computing können die zuerledigenden Jobs auch über den Tag verteilt aufgeteilt werden, während beim Cloud Computing vom Benutzer abrufbare Dienste zur Verfügung gestellt, die jederzeit erreichbar sein müssen. Daher gibt es beim Cloud-Computing üblicherweise auch höhere Leistungsschwankungen im Tagesverlauf. Zusätzlich gibt es für bestimmte Kategorien von Diensten unterschiedliche Spitzenzeiten im Tagesverlauf. ERP-Dienste werden tagsüber oft benutzt, während Spiele-

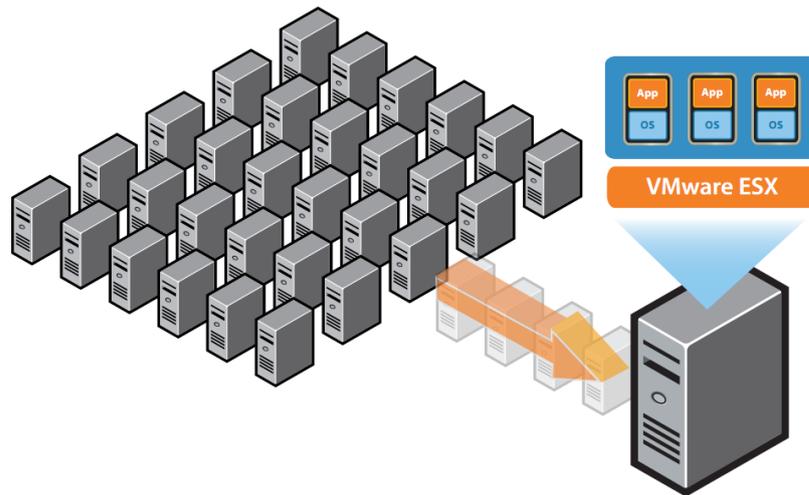


Abbildung 3: Konsolidierung durch Virtualisierung. Mehrere leistungsschwache und selten ausgelastete Server werden auf einem leistungsstarken Server konsolidiert. Alle konsolidierten Server laufen dann in einer virtuellen Maschine auf dem leistungsstarken Server und werden vom Hypervisor (hier: *VMware ESX*) verwaltet. Quelle: (VM08)

und Social-Apps eher in den Abendsstunden am häufigsten genutzt werden.

Aufgrund solcher Tagesschwankungen werden Rechenzentren meistens nach dem maximalen Leistungsbedarf angelegt, der aber nur selten erreicht wird. Ein Problem dabei ist, dass Server, die rund um die Uhr laufen, oft nur zu 5-15 Prozent ausgelastet sind, aber dabei 60-90 Prozent Strom verglichen mit ihrer Maximalleistung verbrauchen. Daher ist es wichtig, die System so gut wie möglich auszulasten, wofür intelligente Lastverteilungs- und Ressourcen-Managementsysteme erforderlich sind.

In einem Rechenzentrum mit einem RMS gibt es meist einen Server-Load-Balancer. Dies ist ein separater Rechner, der die Lastverteilung übernimmt und dabei die Last auf die Backend-Servern verteilt, welche die Bearbeitung der Anfragen übernehmen. Moderne RMS können die tatsächlich benötigten Serverkapazitäten voraussagen und die Leistungen nach Bedarf drosseln, ab- oder zuschalten. Mit dem Cherub-Lastverteilungssystem der Universität Potsdam konnte der Energieverbrauch halbiert werden (Kie10).

2.3 Konsolidierung und Virtualisierung

Eine andere Art der Lastverteilung erfolgt durch Konsolidierung und Virtualisierung. Bei der Konsolidierung werden heterogene Systeme zusammengeführt und die Zahl an Servern und Rechenzentren reduziert. So kann laut Schätzungen bis zu 80% der Energie eingespart werden (SPa09).

Virtualisierung wird von Konzepten wie Serviceorientierten Architekturen (SOA) und Software as a Service (SaaS) unterstützt und ermöglicht. SOA schlüsselt die Dienste nach ihren benötigten Rechenleistungen auf, wodurch sich die nötigen Ressourcen in Rechenzentren genau bestimmen lassen. SaaS verlagert Anwendungsprogramme von lokalen Rechnern in entfernte Rechenzentren, die über das Internet als Dienste zur Verfügung gestellt werden.

Viele dieser Dienste benötigen meist nur einen Bruchteil der auf einem Server verfügbaren Ressourcen. Die Betriebssysteme auf denen Dienste laufen lassen sich virtualisieren und laufen dann in einer virtuellen Maschine. Virtuelle Maschinen, die mehrere virtualisierte Dienste kapseln, können verschoben, kopiert, erstellt und gelöscht werden.

Ressourcen können in verschiedenen Ebenen virtualisiert werden und verschiedene Arten von Virtualisierung benutzen. Es ist hierbei von entscheidender Bedeutung, die Virtualisierung auf die Gegebenheiten des Rechenzentrums zu optimieren, denn eine ineffizient genutzte Virtualisierung kann die Energieeffizienz auch verschlechtern (VM08). Für die Server-Konsolidierung werden ein Managementsysteme für die virtuellen Maschinen benötigt, die wiederum Rechenleistung in Anspruch nehmen.

Die Aufteilung von Ressourcen durch Virtualisierung, so dass diese die Hardware gemeinsam nutzen, wird als Konsolidierung bezeichnet. Mit der Konsolidierung durch Virtualisierung werden mehr Hosts zur Verfügung gestellt als physikalisch vorhanden sind. Dann laufen auf einem Server mehrere unterschiedliche Betriebssysteme, auf denen wiederum unterschiedliche Dienste laufen. Die Betriebssysteme werden durch einen so genannten Hypervisor verwaltet (Mos10). Durch Konsolidierung wird weniger Hardware und weniger Energie für Kühlung benötigt und die verfügbare Hardware wird besser ausgelastet. Außerdem lassen sich damit Dienste, die bisher auf verschiedenen Rechnern verstreut liefen, in virtuellen Maschinen auf leistungsfähigen Rechnern bündeln. Das Ergebnis: Server können über den gesamten Tagesverlauf betrachtet sehr viel höher, etwa um bis zu 50 Prozent, ausgelastet werden.

Die Konsolidierung sollte dabei nicht statisch sein, sondern adaptiv auf die momentan benötigte Leistung reagieren. Durch Konsolidierung können Server mit sehr vielen Kernen wie beispielsweise Intels SCC (Int10) oder AMD Magny Cores (CKD⁺09) besser genutzt werden. Solche Systeme arbeiten pro Kern im allgemeinen energieeffizienter. Allerdings befinden sich solche Systeme wie der Intel SCC immer noch im Prototyp-Status.

Außerdem müssen durch die Konsolidierung große Bedarfsschwankungen möglich sein, wie sie insbesondere beim Cloud Computing im Tagesverlauf auftreten. Das heißt, das zu Spitzenzeiten möglichst keine Ausfälle oder Time-outs passieren dürfen. Um auf solche Bedarfsschwankungen reagieren zu können, muss durch Konsolidierung momentan abgeschaltete auch möglichst schnell wieder verfügbar gemacht werden.

Der IT-Dienstleister *Siemens IT Solutions and Services* gibt an, die Auslastung der unternehmensinternen Rechenzentren mittels Konsolidierung und Virtualisierung auf über 80 Prozent gesteigert zu haben. Der gesamte Energieverbrauch habe sich dadurch um über 30 Prozent verringert. Gleichzeitig wurde die Zahl der deutschen Rechenzentren von 70 auf 30 reduziert. Im Mai 2008 eröffnete das Unternehmen in Peking ein neues Rechenzentrum, das die Infrastruktur aller IT- und Telefondienstleistungen von über 70 Siemens-Standorten in China und der Mongolei beherbergt. Nach Angaben von Siemens IT Solutions and Services verbrauchen die Server rund 37 Prozent weniger Energie als handelsübliche Server.

Große Rechenzentren unterstützen heterogenere Hardware, welche sich auf die zur Verfügung gestellten Dienste optimieren lässt und sich so Energie einsparen ließe, wie bereits im Abschnitt 2.1 beschrieben. Daher ist es also in puncto Energieeffizienz oft besser, wenige große Rechenzentren zu betreiben als viele kleine.

Schätzungen zufolge unterstützen erst 5% aller weltweit physikalisch vorhandenen Server Konsolidierung durch Virtualisierung. Hieraus ergibt sich ein großes Energieeinsparpotenzial. Durch

Konsolidierung wird zu dem weniger Energie für Kühlung verbraucht, da weniger Server benötigt werden.

2.4 Optimierung der Kühlung

Nicht nur die Last sollte betrachtet werden, sondern auch die durch die Last erzeugte Abwärme, die produziert wird, denn die meiste Energie in einem Rechenzentrum wird gewöhnlich für die Kühlung benötigt. Der Anteil der benötigten Energie liegt hierbei zwischen 35 und 50%. Manche Studien erwarten, dass dieser Anteil in Zukunft steigen könnte, wenn keine entsprechenden thermischen Optimierungen in den Rechenzentren vorgenommen werden und ausschließlich in neue Hardware investiert wird (BGa09; FBCH09). Jedoch gibt es eine Reihe von Maßnahmen, um die Kühlung zu optimieren.

Der wohl wichtigste Faktor für die Kühlung ist die Anordnung der Serverracks im Rechenzentrum. In konventionellen Rechenzentren ist die hintere Rackreihe jeweils an der Rückseite des voranstehenden Racks platziert. Dies hat den entscheidenden Nachteil, dass die Hardware in den hinteren Rackreihen die Warmluft der vorderen Rackreihen ansaugt und dadurch zu überhitzen droht, was zu Systemstörungen oder gar zu Ausfällen führen kann und außerdem die Luft zusätzlich erhitzt, wodurch wiederum mehr Energie für Kühlung benötigt wird.

Außerdem sollten die kalte und die warme Luft hermetisch voneinander abgeschirmt werden; hieraus kann bei der Kühlung bis zu 30 Prozent Energie einspart werden. Darüberhinaus sollten die Hardwarekomponenten gekühlt werden, bei denen es unabdingbar ist. Festplatte beispielsweise können auch bei 60 Grad Celsius noch zuverlässig arbeiten und müssen daher nicht auf Zimmertemperatur heruntergekühlt werden.

Zusätzlich sollte die Kühlung ständig durch entsprechende Temperatursensoren überwacht und reguliert werden. Dazu zählt auch, dass die Lüftersysteme entsprechend der aktuell vorherrschenden Temperatur zu regulieren. Dies kann bis zu 27% Energieersparnis bringen. Die Selbstregulierung von Rechenzentren ist heutzutage jedoch immer noch sehr begrenzt.

Auch durch generell höhere Umgebungstemperaturen in den Rechenzentren können hohe Einsparpotentiale erzielt werden. Jedes Grad Celsius um das die Temperatur in einem Rechenzentrum abgesenkt wird, verursacht einen rund 5% höheren Energieverbrauch bei der Kühlung. Derzeit liegt die mittlere Temperatur in Rechenzentren zwischen 15 und 18 Grad Celsius, während die Hardware-Komponenten dort auch problemlos bis zu 26 Grad Celsius verkräften könnten. In den Wintermonaten können Rechenzentren auch mit kalter Außenluft gekühlt werden, wodurch bis zu 8000 Stunden im Jahr kostengünstig gekühlt werden kann.

Außerdem ließe sich Wasserkühlung besonders viel Abwärme produzierende Hardwarekomponenten wie CPU und GPU einsetzen. Dies ermöglicht eine effizientere Kühlung und eine geringe Leistungssteigerung, ist jedoch auch mit einem höheren Wartungsaufwand verbunden. Wenn ein bestimmte Knoten im Rechenzentrum besonders stark ausgelastet sind, können sogenannte Hotspots auftreten, wodurch die Wärme im Rechenzentrum sehr ungleichmäßig verteilt ist. Die Wärme im Rechenzentrum sollte aber gleichmäßig verteilt sein, um so viel Strom wie möglich für die Kühlung zu sparen. Dies kann durch intelligente Lastenverteilung und Konsolidierung geschehen.

Im Rechenzentrum des Sozialwerk Nürnberg konnten durch effizientere Kühlung Energieeinsparungen von etwa 32% eingespart werden.

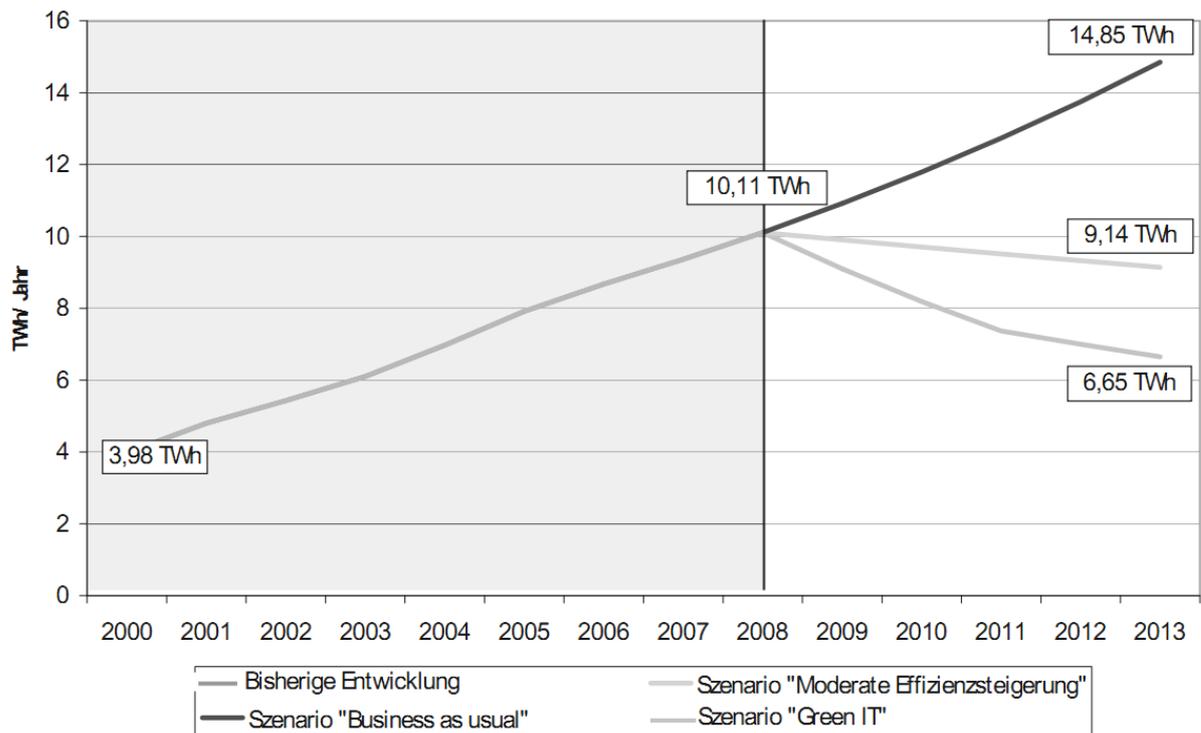


Abbildung 4: Diagramm aus der Studie (FBCH09) der bisherigen Entwicklung des Energieverbrauchs von Rechenzentren von 2000 bis 2008 sowie drei Zukunftsszenarien *Business as usual*, *Moderate Effizienzsteigerung* und *Green IT*, jeweils für 2008 bis 2013.

2.5 Einsparpotenziale

Fasst man die vier zuvor betrachteten Aspekte zusammen, lassen sich deutliche Einsparpotenziale diagnostizieren. Vor allem mit Konsolidierung durch Virtualisierung lässt sich die meiste Energie sparen, da die Hardware effizienter genutzt, nicht benötigte Server abgeschaltet und dadurch weniger Abwärme produziert und auch somit weniger für Kühlung benötigt wird. Effizienz Kühlung und Netzteile mit geringer Verlustleistung sind ebenfalls nicht zu unterschätzende Faktoren.

Jedoch muss die Grundlage aller Design- und Technikentscheidungen die kritische Betrachtung der tatsächlichen Energieeffizienzgewinne durch Erhebung und Übermittlung von zeitlich und örtlich hochauflösenden Messwerten sein. Eine wissenschaftliche Ermittlung der tatsächlich erzielbaren Effizienzgewinne und der Vergleich von Messergebnissen aus verschiedenen Quellen ist zwingend notwendig.

Allerdings liegt genau hier der Knackpunkt: Zwar existieren Gütesiegel und Verordnungen über die Energieeffizienz von einzelnen Geräten, jedoch keine Standards, um die Effizienz von Rechenzentren zu messen. Das macht eine Prognose über die zukünftige Energieeffizienz deutlich schwieriger. Daher kann man den Effizienzgewinn oft nur durch konkrete technische Maßnahmen abschätzen und bewerten.

Beispielsweise berichtet der zweitgrößte europäische Web-Hosting Provider Strato, der europaweit mehr als 30000 Server betreibt, von Energieeinsparungen von über 90% durch Konsolidierung und neu angeschaffter, energieeffizienterer Hardware und effizienterer Kühlung, ver-

glichen mit dem alten, zuvor eingesetzten System.

In Diagramm 2.5 sind drei verschiedene Zukunftsszenarien zum Energieverbrauch von Rechenzentren aufgeführt. Geht man davon aus, dass die besten heute verfügbaren Energieeffizienz-Technologien und Lösungen durch massive Anstrengungen umgesetzt und bei rund 90% aller Rechenzentren angewendet werden, so könnte der Stromverbrauch durch Server und Rechenzentrumsinfrastruktur bis 2013 auf 6,65 TWh sinken. Im Falle dieses „Green IT“-Szenarios würde der Stromverbrauch von Rechenzentren trotz kontinuierlich steigender Rechen- und Speicherleistung innerhalb von nur fünf Jahren somit um fast 40% fallen und die Stromkosten selbst bei weiterhin steigenden Strompreisen bis 2013 auf 997 Mio. € sinken.

Jedoch sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Szenarios erheblich. Summiert man die Differenz zwischen beiden Zukunftsoptionen im Zeitraum von 2009 bis 2013 auf, so zeigt sich, dass die Betreiber von Servern und Rechenzentren in Deutschland innerhalb von nur fünf Jahren insgesamt 3,6 Mrd. Euro an Stromkosten einsparen könnten, sofern die heute bereits verfügbaren und von Vorreitern auch schon erfolgreich angewendeten Effizienzlösungen flächendeckend eingesetzt werden.

Daher liegt es in der Hand der Rechenzentrumsbetreiber, konkrete Maßnahmen vorzunehmen. Bevor ein Rechenzentrum optimiert wird, sollte eine grundlegende Analyse des Ist-Zustands stattfinden. Auf Basis dessen sollte dann ein sinnvoller Maßnahmenkatalog erarbeitet werden, der exakt die zu erwartende Einsparung für jeden einzelnen Optimierungsschritt beziffert.

Dadurch, dass letztendlich auch viel Geld gespart werden kann, ist der energieeffiziente Betrieb eines Rechenzentrums auf lange Sicht auch aus ökonomischer Sicht lukrativ. Jedoch lässt sich beim Cloud-Computing die Energieeffizienz nicht nur auf Server-, sondern auch auf Client-Seite reduzieren.

3 Energieverbrauch von Benutzerendgeräten

Beim Cloud Computing spielen auch die Benutzerendgeräte (im folgenden auch als *Clients* bezeichnet) für den Energieverbrauch eine wichtige Rolle. Mit Client greift der Benutzer auf die in der Cloud angebotenen Dienste zu und erhält so die gewünschten Informationen, die dann auch auf dem Client ausgegeben werden.

Drei wesentliche Faktoren bestimmen den Energieverbrauch eines Clients maßgeblich:

1. **Hardwarekomponenten.** Die im Energieeffizienz der im Endgeräten Hardwarekomponenten spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Außerdem muss man betrachten, welche Komponenten überhaupt verbaut sein müssen, um Cloud-Computing-fähig zu sein. Dies führt zu den sogenannten *Thin Clients*.
2. **Lebenszyklus.** Für die Herstellung und Entsorgung eines Endgerätes wird ein nicht unwesentlicher Anteil an Ressourcen und Energie verbraucht. Daher muss auch der gesamte Produktlebenszyklus betrachtet werden.
3. **Verwendete Software.** Die auf dem Endgerät verwendete Software beeinflusst ebenfalls die Energieeffizienz. Ineffizient programmierbare Software kann den Stromverbrauch eines Endgerätes deutlich erhöhen.

Diese drei Faktoren werden nun im folgenden näher analysiert.

3.1 Hardwarekomponenten und Thin-Clients

In Abschnitt 2.1 wurde die Energieeffizienz von Server-Hardware beschrieben. Da ein Client heutzutage jedoch heutzutage aus nahezu den gleichen Komponenten besteht, spielen die im Abschnitt genannten Faktoren hier ebenfalls eine Rolle und die Anteile des Energieverbrauchs der in Diagramm 2 aufgeführten Komponenten sind nahezu gleich.

Im Gegensatz zum Server wird für den Client jedoch zwingend ein Ausgabegerät (meist ein LCD-Bildschirm oder OLED-Bildschirm) benötigt. Der Stromverbrauch von Bildschirmen ist auch bei der Energiebilanz von Bedeutung. Die Helligkeit und die Größe des Bildschirms sowie die eingesetzte Display-Technik (LED, OLED, LCD etc.) beeinflussen dabei den Energieverbrauch am meisten.

Im Gegensatz zu Servern ist die Rechenleistung und Speicherkapazität eines Clients meist jedoch geringer. Es lässt sich feststellen, dass die Rechenleistung der Client eine immer untergeordnetere Rolle spielt, während vor allem bei tragbaren Geräten der Energieverbrauch und damit auch die Akku-Laufzeit immer wichtiger wird. Dies lässt vor allem an den drastisch steigenden Verkaufszahlen von SmartPhones, Netbooks und Tablet-PC beobachten (ST11). So hat sich bei den Netbooks beispielsweise die Akkulaufzeit mehr als verdreifacht, während die Rechenleistung nur geringfügig gestiegen ist (NV11).

Der Trend vom Desktop-Computer zu mobilen Geräten wie SmartPhone, Netbooks und Tablets führt zum so genannten Thin-Client-Konzept. Ein Thin-Client hat nur die Aufgabe, die Benutzereingaben an den Server zu senden und die Ausgabe von diesem zu empfangen. Im Gegensatz zum üblichen Client (in dieser Einordnung auch als *Fat-Client* bezeichnet) kann er die Daten nicht verarbeiten, jedoch ist der Betrieb und die Wartung erheblich einfacher (KHa08).

Dadurch, dass nur ein Eingabe, Empfangs und Ausgabegerät und keine zusätzlichen Prozessoren oder Speichermedien benötigt werden, verbraucht ein Thin-Client nur den Bruchteil der Energie eines Fat-Clients (KHa08).

Allerdings setzt die Nutzung eines Thin-Clients das Vorhandensein mindestens eines Servers voraus, der natürlich auch Energie verbraucht. Das Vorhandensein und die Verbindung zum Server führt auch zu einer erhöhten Abhängigkeit: Ist der Server defekt oder nicht erreichbar, können die zugehörigen Thin-Clients nicht verwendet werden. Dies stellt ein grundlegendes Problem des Thin-Client-Konzepts dar.

Thin-Clients passen durchaus in das Cloud-Computing-Konzept, das dem Anwendungsmodell früherer Großrechner ähnelt und schon lange existierte vor dem Aufkommen des Desktop-PCs existierte. Bei einem solchen Mainframe diente ein sehr einfach aufgebautes Terminal dazu, Zugriff auf die Ressourcen des Großrechners zu ermöglichen. Erforderlich waren sowohl ein schneller (und daher kostspieliger) Großrechner als auch die entsprechende Netzwerkinfrastruktur. Die PCs und Heimrechner von IBM kamen hingegen ohne diese Komponenten aus, denn sie vereinigten sämtliche Funktionen in einem einzigen Gerät und machten somit das Konzept des Mainframes obsolet (Sch10).

Mit der flächendeckenden Verfügbarkeit von Breitband- und mobilen Internetzugängen und der erhöhten Funktionalität des Internets wird so die Rolle des Desktop-PCs in den Hintergrund gedrängt. Beim Cloud-Computing ist der Desktop-PC in Form eines Thin-Clients nun wieder das Terminal, welches den Zugriff auf die in der Cloud zur Verfügung gestellten Dienste ermöglicht. Einen solchen PC, der keine eigene Software besitzt und bei dem die eigentliche Datenverarbeitung auf einen Server ausgelagert wird, bezeichnet man als *Thin-Client*.

Der Markt für Thin-Clients wächst schneller als der Desktop-PC-Markt, jedoch auf einem wesentlich niedrigerem Niveau. Im EU-Raum standen im Jahr 2007 eine Million Thin-Clients rund 26 Millionen neuen Desktop-PCs gegenüber, was einem Anteil von nur 4,3% entspricht (KHa08). Laut der Fraunhofer Studie könnten 8,6 Millionen PCs durch Thin-Clients ersetzt werden.

Die Studie geht zudem davon aus, dass durch das Ersetzen eines Desktop-Systems durch einen Thin-Client inklusive LCD-Monitor und Server die Treibhausgasemission um bis zu 44% sinken können. Der Einsatz von Thin-Clients, inklusive der LCD-Bildschirme und der verwendeten Server, benötigt 20% weniger Strom als die Nutzung konventioneller Systeme.

Allerdings geht die Studie von einem Thin-Client aus, der 20 Watt Strom pro Stunde verbraucht. Dies ist sicherlich eine sehr hohe Schätzung, da bereits Tablet-PCs und Netbooks einen oft viel geringeren Stromverbrauch aufweisen (KHa08). Würde man den Desktop-PC durch einen Thin-Client (inkl. LCD-Bildschirm) ersetzen, könnten 44% der Energie eingespart werden (Kun11). In Zukunft werden die Benutzer für die Benutzung des Internet nicht mehr den Desktop-PC, sondern mehrere Arten von Thin-Clients wie Smartphone, Netbook oder Tablet-PC benutzen. Dadurch müssen aber auch mehr Geräte produziert werden, was den Energiebedarf erhöht (GC10).

3.2 Lebenszyklus

Die Nutzungsdauer eines Thin-Clients beträgt durchschnittlich sieben Jahre, ein konventioneller Desktop wird drei bis vier Jahre genutzt (Dav08). Bei sechsjähriger Nutzung von Thin-Clients

könnten durch Ersetzung von Desktop-PCs im westeuropäischen Raum bis 2020 über vier Millionen Megawattstunden Energie eingespart werden. Dies bedeutet, dass sich der durchschnittliche Lebenszyklus eines Endgerätes durch den Einsatz von Thin-Clients verdoppeln könnte. Dadurch vermutlich mindestens die Hälfte an Ressourcen und Energie eingespart werden (Dav08). Smartphones, Netbooks und Tablets haben aufgrund steigender Funktionalität und sinkender Preise einen kürzeren Lebenszyklus als reine Thin-Clients (GC10). Da sich solche Geräte zur Zeit eher gegenüber „echten Thin-Clients“ etablieren und jeder Nutzer meist mehrere dieser Geräte besitzt, ist eine Halbierung des Energiebedarfs mehr als fraglich.

Die Lebensdauer der Endgeräte wird maßgeblich durch das Mooresche Gesetz bestimmt. Das Gesetz besagt, dass sich die Transistorenanzahl auf einem integrierten Schaltkreis alle 18 bis 24 Monate verdoppelt. Allerdings ist das Mooresche Gesetz nur an marktwirtschaftliche Entwicklungen und nicht an Naturgesetze gebunden. Es ist lediglich eine Faustregel, die ausgehend von empirischen Beobachtungen entwickelt wurde.

Die Formulierung des Mooreschen Gesetzes hat sich im Laufe der Zeit stark verändert. Sprach Gordon Moore noch von der Komponentenanzahl auf einem integrierten Schaltkreis, so ist heute von der Transistorenanzahl auf einem integrierten Schaltkreis die Rede, mitunter sogar von der Transistorenanzahl pro Flächeneinheit. Vielleicht wird sich mit der Etablierung von Green IT die Formulierung noch einmal ändern: Denkbar wäre beispielsweise die Einheit Energieverbrauch pro FLOP.

Um Energie und Ressourcen zu sparen, wäre eine Verlängerung des Produktlebenszyklus sicherlich sinnvoll, ist aber marktwirtschaftlich kaum durchsetzbar, weil das Mooresche Gesetz nach wie vor der von unumstößlichem ökonomischem Interesse ist.

Ein Ende des Mooreschen Gesetzes könnte jedoch auch längere Produktlebenszyklen für alle IT-Produkte mit sich bringen. Greenpeace fordert ein Umdenken bei der Produktion und Entsorgung von IT-Produkten und setzt sich für eine Aussetzung des Mooreschen Gesetzes zugunsten von energiesparenden IT-Produkten ein (GC10). Es existieren zudem Prognosen, die das Ende dieses Gesetzes in naher Zukunft vorhersagen.

So prognostizierte Gordon Moore selbst auf Intels Entwicklerforum (IDF) im Herbst 2007 das Ende seines Gesetzes. Es werde wahrscheinlich noch 10 bis 15 Jahre Bestand haben, bis eine fundamentale Grenze erreicht sei. Jedoch behauptete Intel-Vorsitzender Pat Gelsinger bereits ein halbes Jahr später, dass das Mooresche Gesetz noch bis 2029 Gültigkeit behalten würde (Moo).

Neben einem verlängerten Produktlebenszyklus ist auch eine energieeffiziente Produktion und Entsorgung von Bedeutung. Bei der Produktion eines Desktop-PCs entstehen 27 kg Abfall, der vor allem durch die Produktion der Stahlschichten und des Kupferdrahtes entsteht. Hinzu kommen noch 0,57kg gefährlicher Abfall, der bei der Produktion der Platinen anfällt. Zusätzlich wird rund 117kg CO₂ freigesetzt. Hauptverantwortlich dafür sind die Platinen und der LCD-Bildschirm.

Dieser Abfall muss später auch wieder fachgerecht entsorgt und recyclet werden, wodurch ebenfalls Energie verbraucht wird. Laut Greenpeace ist die Produktion und Entsorgung immer noch nicht nachhaltig genug, weshalb in diesem Zusammenhang auch von „Brown IT“ gesprochen wird (GC10).

3.3 Optimierte Software

Niklaus Wirth hat 1995 das nach ihm benannte Gesetz „*Software is getting slower more rapidly than hardware becomes faster.*“ postuliert (Ful10). Es ist ein Gegensatz zum Mooreschen Gesetz, denn es stellt fest, dass die Hardware zwar schneller wird, aber die Software eben auch viel komplexer und rechenaufwändiger, was sich auch auf den Energieverbrauch auswirken kann.

Besonders Video-Dekodierung, Computerspiele und sonstige Multimedia-Anwendungen sind sehr rechenaufwändig und steigern daher auch den Energieverbrauch der Prozessoren. Wenn man den Abschnitt 2.2 betrachtet, in dem beschrieben wurde, dass ein nicht ausgelasteter Server fast 70% der Energie eines vollausgelasteten Server verbraucht, so kann man abschätzen, dass die Software etwa 30% des Energieverbrauchs ausmacht. So ist es vor allem bei konsolidierten Rechenzentren und bei mobilen Geräten sinnvoll, denn hier könnte vielleicht noch mehr Energie eingespart und bei mobilen Geräten zudem die Akkulaufzeit verlängert werden.

Genaue Messwerte, inwieweit optimierte Software zu Energieeffizienz beiträgt, sind nur schwer ermittelbar, da hier viele Faktoren wie Nutzungsdauer, eingesetzte Hardware und die zu verarbeitenden Daten die Ergebnisse stark beeinflussen. Vielleicht könnte aber in Zukunft die Optimierung von Software aus Energieeffizienzgründen eine wichtigere Rolle spielen, wenn alle anderen Möglichkeiten für Energieersparnis nahezu erschöpft sind.

3.4 Einsparpotenziale

Wie viel Energie genau durch energieeffiziente Endgeräte eingespart werden kann ist nur schwer ermittelbar. Aus den genannten Fakten lassen sich jedoch folgende Punkte festhalten:

- Es existiert ein Trend zu kleineren und energiesparenden internetfähigen mobilen Endgeräten. Weil lange Akkulaufzeiten für den Nutzer von Vorteil sind, steigt hier durch auch die Energieeffizienz.
- Durch die Ersetzung von Desktop-PCs durch Thin-Clients kann die Energie für die Endgeräte nahezu halbiert werden. Jedoch treten hier datenschutzrechtliche Probleme auf, die mit der informationellen Selbstbestimmung in Konflikt stehen. Für Details sei an dieser Stelle auf die beiden Arbeiten (BLK09; Win10) verwiesen.
- Effiziente Hardwarekomponenten wie CPUs mit flexibler Taktrate leisten ebenfalls einen Betrag zur Energieeffizienz.
- Optimierung von Software spielt für die Energieeffizienz zur Zeit noch eine untergeordnete Rolle.
- Der Lebenszyklus von IT-Produkten hängt vom Mooreschen Gesetz ab und wird sich daher in den nächsten Jahren nur wenig verlängern.

Der Trend geht mit Cloud Computing also vor allem zu mobilen, leistungsschwächeren und energiesparenderen Geräten. Allerdings werden auch immer mehr Geräte produziert und entsorgt. Dies hat einen Anstieg des Energiebedarfs zur Folge (GC10).

4 Cloud-Computing als Grundlage für ein Energieinformationsnetz

Nicht nur durch beim Cloud-Computing selbst kann Energie gespart werden. Auch umgekehrt kann Cloud-Computing dazu beitragen, die Energiequellen durch Bereitstellen von Informationen besser zu nutzen.

Mithilfe von Cloud Computing und der entsprechenden Infrastruktur können intelligente Energiesysteme betrieben werden, in denen die Kraftwerke mit den Einrichtungen der Stromnetze und den Strom verbrauchenden Endgeräten kommunizieren. Viele der Initiativen und Aktivitäten in diesem Bereich werden international unter dem Begriff „Smart Grids“ zusammengefasst (BMW10a).

„Smart“ bedeutet in diesem Zusammenhang die intelligente Nutzung aller zur Verfügung stehenden Ressourcen sowie für die Optimierung und Integration des Gesamtsystems der Elektrizitätsversorgung. Das betrifft die Gewinnung des Stroms sowie die Speicherung, den Transport, die Verteilung und dessen effiziente Verwendung.

Ein solches Energieinformationsnetz erfordert komplexe Managementsoftware, um die Fülle der erhobenen Daten auf Cloud-Servern zu verwalten und zu verarbeiten. Zu dem werden Messtechnik zur Online-Erfassung von Energieflüssen einschließlich zugehöriger Datenverarbeitung (zeitliche Verläufe, Statistiken, Speicherung) und Verfahren zur Sicherstellung eines ungestörten Betriebsablaufs bei Teilausfall, vorsätzlichen Angriffen oder Katastrophenszenarien benötigt.

Zur Messtechnik sind bereits unterschiedliche Gerätschaften auf dem Markt („Smart Metering“), welche allerdings noch eine Reihe von Grundsatzfragen unbeantwortet lassen wie z.B. Häufigkeit und Genauigkeit der zu erfassenden Parameter, Netzschnittstellen und Protokolle, Authentisierungs- und Manipulationsschutzmaßnahmen. Hierzu ist eine Normung anzustreben mit einer vorausgehenden Spezifikation der Funktionalitäten.

Hierdurch treten datenschutzrechtliche Probleme auf, weil die Haushalt ständig Messdaten über den Energieverbrauch zur Verfügung stellen müssten, was gegen die informationelle Selbstbestimmung verstöße.

Der Chaos Computer Club hält eine Übermittlung hochauflösender Messdaten aus dem Haushalt heraus halten für „unnötig, gefährlich und nicht zielführend“. Ein hohes Missbrauchsrisiko einzugehen, nur damit Verbrauchskurven auf einer zentralen Webseite – statt lokal am Stromzähler – betrachtet werden können, sei „vollkommen unverhältnismäßig“ (BMW10b).

Bevor diese Grundsatzfragen nicht beantwortet sind, wird es deshalb sicherlich noch ein paar Jahre dauern, bevor sich ein solches Energieinformationsnetz etablieren kann.

5 Ausblick

In dieser Semesterarbeit wurde Cloud Computing und seine Energieeffizienz untersucht. Dabei wurden die Rechenzentren, die Endgeräte sowie die Cloud Computing als Grundlage für ein Energieinformationsnetz differenziert betrachtet. Eine höhere Energieeffizienz durch Cloud Computing kann zusammengefasst durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- **Effiziente und spezialisierte Hardware sowohl in Rechenzentren als auch in Endgeräten.** Solche Hardware, insbesondere effiziente Netzteile sowie CPUs mit regulierbarer Taktfrequenz, kann maßgeblich zur Energieeffizienz beitragen.
- **Effiziente Kühlung von Rechenzentren.** Durch Effiziente Kühlmaßnahmen kann bis zu 30% des Energiebedarfs an Rechenzentren eingespart werden.
- **Konsolidierung durch Virtualisierung.** Durch Virtualisierung und Zusammenfassen von vielen kleinen Servern zu wenigen großen kann bis zu 60% der Energie für Server eingespart werden.
- **Intelligente Lastenverteilung sowie Abschalten nicht benötigter Hardware.** Durch solche Maßnahmen kann bei den Servern ebenfalls bis zu 50% der Energie gespart werden.
- **Nachhaltige und energieeffiziente Produktion und Entsorgen von IT-Produkten.** Durch längere Lebenszyklen und nachhaltigere Produktion kann ebenfalls zur Energieeffizienz beitragen.
- **Ersetzen von Desktop-PCs durch Thin-Clients.** Desktop-PC verursachen mehr Abfall und verbrauchen mehr Energie. Zukünftig werden die Benutzer sich hauptsächlich über Thin-Clients und mobile Geräte mit dem Internet verbinden. Thin-Clients verbrauchen bis zu 44% weniger Energie gegenüber einem Desktop-PCs.

Prognosen aus anderen Studien für die Entwicklung des Energieverbrauchs durch Cloud Computing sind zum Teil sehr widersprüchlich. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie schätzt, dass dadurch den Einsatz von Cloud Computing der Energieverbrauch langfristig gesehen sinkt (Win10). Der Chef vom US-Venture-Unternehmen Spencer Trask, Bill Clifford, prognostiziert hingegen, dass der Energieverbrauch durch Cloud Computing durch „Ghost-Server“ drastisch ansteigen wird (Wei10). Auch Greenpeace warnt vor einer drastischen Erhöhung des Anstiegs an Treibhausgasen (GC10). Die Prognose dieser Semesterarbeit fällt ebenfalls eher negativ aus.

Die Benutzerendgeräte werden immer kompakter und energiesparender und ähneln immer mehr den Thin-Clients. Jedoch existieren viele verschiedene Arten von Endgeräten und die meisten Benutzer werden mehrere von ihnen besitzen. Dadurch werden mehr Geräte produziert und somit auch mehr Energie verbraucht. Zudem bleibt durch die Weiterentwicklung und weiterhin steigende Rechenleistung aufgrund des Mooreschen Gesetzes der Produktlebenszyklus der Geräte weiterhin kurz. Eine umweltfreundlichere Produktion der Geräte und längere Lebenszyklen sind daher wünschenswert.

Dadurch, dass immer Rechenaufgaben ins Netz verlagert werden, steigt der Rechenbedarf und

damit auch die Größe der Rechenzentren. Im Gegensatz dazu werden die Rechenzentren durch optimierte Kühlung, intelligente Lastverteilung und effiziente Hardware immer effizienter betrieben. Langfristig wird erwartet, dass die Energieeffizienz der Rechenzentren sich drastisch erhöht, während der Energieverbrauch der Rechenzentren nur geringfügig steigt.

Mit der Verlagerung der Rechenleistung in die Rechenzentren und sinkendem Energieverbrauch der Endgeräte liegt Energiesparen immer weniger in der Hand des Benutzers, sondern wird zentralisiert und von ausgebildeten Fachkräften professionalisiert. Daher muss es in Zukunft auch gesetzliche Auflagen für Rechenzentrumsbetreiber geben, die einen effizienten Betrieb des Rechenzentrums verlangen.

Die Betrachtung von Endgeräten und der Rechenzentren lässt den Schluss zu, dass trotz anhaltender Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz der Endgeräte und Rechenzentren, der Gesamtenergieverbrauch durch Cloud-Computing weiterhin ansteigt. Gründe dafür sind der steigende Bedarf an Rechenleistung sowie die Produktion von Endgeräten und deren kurze Lebenszyklen.

Deshalb ist es notwendig, den Fokus noch mehr die Energieeffizienz von Rechenzentren und auf nachhaltige Produktion zu legen, denn letztendlich ist dies neben den ökonomischen Vorteilen auch ein Beitrag zur Verhinderung des Klimawandels und dies kommt den nachfolgenden Generationen zu gute.

Literatur

- [ACP09] : Advanced Configuration and Power Interface Specification. Hewlett-Packard, Intel, Microsoft, Phoenix Technologies und Toshiba Corporation, Juni 2009. – Forschungsbericht. – Revision 4.0
- [BGa09] BERL, Andreas ; GELENBE, Erol ; AL., Marco Di G.: Energy-Efficient Cloud Computing. (2009)
- [BLK09] BÖHM, Markus ; LEIMEISTER, Stefanie ; KRCCMAR, Helmut: Cloud Computing Revolution in der Wolke. (2009)
- [BMW10a] *E-Energy - Smart Grids made in Germany*. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Juni 2010
- [BMW10b] *Nutzerschutz im Energieinformationsnetz, Daten und Verbraucherschutz in Smart Grids*. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Juni 2010
- [CC11] CeBIT 2011: IT-Sicherheit, Cloud Computing und moderne Lösungen. In: *update* (2011), März
- [CG10] *CeBIT green IT 2010 - The business platform at the world's leading trade fair for Green IT*. BITKOM, 2010
- [CH02] COMPTON, Katherine ; HAUCK, Scott: Reconfigurable Computing: A Survey of Systems and Software / Northwestern University. 2002. – Forschungsbericht. – <http://ee.washington.edu/faculty/hauck/publications/ConfigCompute.pdf>
- [CKD⁺09] CONWAY, Pat ; KALYANASUNDHARAM, Nathan ; DONLEY, Gregg ; LEPAK, Kevin ; HUGHES, Bill: Blade Computing with the AMD Opteron Processor / AMD. 2009. – Forschungsbericht
- [Dav08] DAVIS, Euan: Green Benefits Put Thin-Client Computing Back On The Desktop Hardware Agenda. In: *Sourcing & Vendor Management Professionals* (2008), März
- [FBCH09] FICHTER, Dr. K. ; BEUCKER, Dr. S. ; CLAUSEN, Dr. J. ; HINTEMANN, Dr. R.: Green IT: Zukünftige Herausforderungen und Chancen / Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH. 2009. – Forschungsbericht
- [For09] *What Are The Financial Benefits Of Green IT?* Forrester Research, Juni 2009
- [Ful10] FULLER, John: How Wirth's Law Works. In: *How Stuff Works* (2010). – <http://computer.howstuffworks.com/wirths-law1.htm>
- [GC10] Make IT Green Cloud Computing and its Contribution to Climate Change. (2010)
- [Gmb06] GMBH, Citrix Systems I.: IT-Kosten senken mit Citrix Presentation Server 4 - Eine Kosten- und ROI-Betrachtung. 2006. – Forschungsbericht
- [Hal10] HALUSCHAK, Bernhard: Netzteile für PCs & Server. In: *tecchannel.de* (2010). – http://www.tecchannel.de/server/hardware/431450/netzteile_pc_server_wirkungsgrad_pfc_combined_power_workstations_leistung/index6.html

- [Int10] INTEL LABS (Hrsg.): *The SCC Platform Overview*. Intel Labs, Mai 2010. – http://techresearch.intel.com/spaw2/uploads/files/SCC_Platform_Overview.pdf
- [KHa08] KNERMANN, Christian ; HIEBEL, Markus ; AL., Hartmus P.: *Ökologischer Vergleich der Klimarelevanz von PC und Thin Client Arbeitsplatzgeräten* / Fraunhofer Gesellschaft. 2008. – Forschungsbericht
- [Kie10] KIERTSCHER, Simon: *Green IT - Energiebewusstes Clustermanagement*. August 2010
- [Koo07] KOOMEY, Jonathan G.: *Estimating Total Power Consumption By Servers In The U.S. And The World* / Lawrence Berkeley National Laboratory. 2007. – Forschungsbericht
- [Kun11] KUNESCH, Uli: *White Paper Desktop Virtualisierung. Die Zukunft des Unternehmensdesktops.* / T-Systems. 2011. – Forschungsbericht
- [LMW07] LIU, Weiguo ; MÜLLER-WITTIG, Wolfgang: *Performance Predictions for General-Purpose Computation on GPUs* / Nanyang Technological University. 2007. – Forschungsbericht
- [Maz09] MAZURYK, Beata: *Green IT – Effizienz im Rechenzentrum*. In: *Energieverbraucherportal* (2009), September
- [Moo] IDF: *Moore's Law bis 2029*.
- [Mos10] MOSES, Carl: *Amazon Security Best Practices*. (2010)
- [NV11] <http://www.netbook-vergleich.com/>
- [Sch10] SCHAEFER, Dan: *Cloud Computing: A Blast From the Past?* (2010). – <http://www.ureadit.com/dansblog/91-cloud-computing-a-blast-from-the-past.html>
- [Sha07] SHANKLAND, Stephen: *U.S. servers slurp more power than Mississippi*. In: *cnet News* (2007), Februar. – http://news.cnet.com/U.S.-servers-slurp-more-power-than-Mississippi/2100-1010_3-6159583.html
- [SPa09] SCHÄPPI, Bernd ; PRZYWARA, Bernhard ; AL., Frank B.: *Energy efficient servers in Europe* / Austrian Energy Agency, SUN Microsystem, IBM et al. 2009. – Forschungsbericht
- [ST11] *Tablet PC Impact Sells On The PC Market*. In: *iMobile* (2011), März
- [VM08] VMWARE: *How VMware Virtualization Right-sizes IT infrastructure to Reduce Power Consumption*. 2008. – Forschungsbericht
- [Wei10] WEIS, Harald: *Cloud Computing bringt Ghost Server*. In: *silicon.de* (2010), November
- [Win10] WINKELMANN, Michael: *Cloud Computing: Datenschutz und Sicherheit*. In: *Alcatel Lucent Stiftung für Kommunikationsforschung* (2010)