

Nachhaltigkeit beim Einsatz von ICT

Nico Waldispühl

Departement für Informatik, ETH Zürich

nicow@student.ethz.ch

Zusammenfassung

Der Einsatz von ICT¹ zur Steuerung und Verwaltung von Anlagen der Industrie verspricht höhere Effizienz dieser Industrieanlagen. Er wird von Unternehmen aller produktiven Sektoren vorangetrieben. Diese Effizienzsteigerung muss allerdings mit erhöhtem Elektrizitätsaufwand beim Betrieb und etwa der Kühlung solcher ICT erkauft werden. Trotz aller Euphorie bei der Einführung solcher Technologien darf deshalb die Energieeffizienz der ICT selber nicht aus den Augen verloren werden.

Diese Arbeit erörtert das Problem, wie der Elektrizitätsbedarf der weltweit eingesetzten ICT als Grundlage für weitere Betrachtungen ermittelt werden kann. Dann wird am Beispiel eines Unternehmens die Umsetzung und Auswirkungen solcher ICT betrachtet. Die Arbeit schliesst mit Überlegungen, wie der Energiebedarf von Rechenzentren – die am stärksten wachsenden Energiekonsumenten der ICT – gesenkt respektive deren Effizienz erhöht werden kann.

¹Information and Communication Technology, Informations- und Kommunikationstechnologie

1 Einführung

Unter Nachhaltigkeit – *Sustainability* – im Kontext von ICT subsumieren sich etliche, spannende Unterthemen wie z.B. die Frage nach der Lebensdauer für die ein Gerät ausgelegt ist oder generell die Zukunftsfähigkeit eingesetzter Protokolle und Schnittstellen. Im Rahmen dieser Vortragsreihe zum Thema “Smart Energy” befassen wir uns hier ausschliesslich mit Fragen rund um den Einfluss, den ICT auf den Energieverbrauch insbesondere der Industrie- und Dienstleistungssektoren haben kann.

Obwohl in der Industrie und Wirtschaft ICT bereits seit längerer Zeit zur Verarbeitung von Daten und zur Steuerung von Anlagen eingesetzt wird, haben einige Entwicklungen in jüngster Zeit zu grösseren Veränderungen im von uns betrachteten Gebiet geführt [4]: Durch die Liberalisierung von Strommärkten und der Entwicklung neuer Energietechnologien ist es energieintensiven Betrieben mit eigener Energieproduktion (wie zum Beispiel einem Stahlwerk) nun etwa möglich, am Energiemarkt selber auch als Produzent von Energie aufzutreten. Betriebe können ihre Energiebedürfnisse durch Methoden alternativer Energieerzeugung in erhöhtem Mass selber decken. Die Entbündelung vertikal integrierter Industrie (also die Aufschlüsselung von Produktionsketten wie z.B. in der ‘just-in-time’-Produktion) hat dank neuer Kommunikationstechnologien zugenommen und die Effizienz solcher Wertschöpfungsketten erhöht. ICT im Allgemeinen und E-Business im Speziellen haben einen steigenden Einfluss auf die Ausprägung von Energiebedürfnissen und das Konsumverhalten der Konsumenten. Die Auswirkungen von ICT nehmen in diesen Sektoren stetig zu.

Mit der wachsenden Integration von ICT steigt die Anzahl der verwendeten Geräte und folglich auch der Energieverbrauch derselben. ICT zur Steuerung von Industrieanlagen steigert zwar üblicherweise die Effizienz solcher Anlagen, dieser Vorteil muss allerdings mit einem erhöhten Elektrizitätsverbrauch erkauft werden [4]. Bei ICT, welche für Datenverarbeitung im Dienstleistungssektor verwendet wird (etwa Server in Rechenzentren), fällt der Vorteil einer Effizienzsteigerung ganz weg. Die Anzahl dieser Server ist aufgrund der steigenden Nachfrage nach Verarbeitungskapazität ebenfalls steigend [2], [3]. Es gilt also Wege zu finden um dem steigenden Energieverbrauch der ICT zu begegnen.

In Kapitel 2 wird eine Methode beschrieben, wie der Energiebedarf der weltweit verwendeten Server eingeschätzt werden kann. Für eine fundierte Debatte stellt eine zuverlässige Einschätzung eine wichtige Grundlage dar. Kapitel 3 ist der Beschreibung einer Fallstudie aus der Industrie gewidmet; es wird aufgezeigt wie ein Industriebetrieb durch geschickten Einsatz von Technologie die aufgewendete Heizenergie signifikant reduzieren konnte. Der Preis dafür war allerdings ein höherer Aufwand elektrischer Energie. Die Arbeit schliesst mit der Besprechung von Methoden zur Steigerung der Energieeffizienz von Rechenzentren oder generell Verbänden mehrerer Server in Kapitel 4: Durch Virtualisierung können mehrere vorher physisch isolierte Systeme auf wenigen Servern konsolidiert (also zusammengefasst) werden, womit der nun ungenutzte Teil der Server in den Ruhezustand versetzt werden kann. Es stellt sich nun aber die Frage wie mit Lastschwankungen umgegangen wird. Hier werden zwei Arbeiten präsentiert, welche auf diese Frage eine Antwort versprechen.

2 Ermittlung des weltweiten Elektrizitätsverbrauchs von ICT

2.1 Motivation

Um eine fundierte Diskussion über den Energieverbrauch (insbesondere relevant: Elektrizität) von ICT (hier synonym zu Servern) zu führen ist es wünschenswert, über genaue Zahlen desselben zu verfügen. Unternehmen, welche ICT betreiben, geben in den meisten Fällen keine detaillierte Auskunft über die Anzahl der Server und deren Ausstattung. Insbesondere Technologieunternehmen, die etwa Daten-

dienste im Internet anbieten, betrachten diese Angaben häufig als Geschäftsgeheimnis. Eine derartige Abschätzung oder gar Messung dieser Verbrauchswerte ist also aussichtslos. Das Problem muss folglich mit einem anderen Ansatz gelöst werden. *Koomey* wählt in seinem Bericht von 2007 [2] den Weg über die Anzahl verkaufter Server.

2.2 Methode

IDC² ist ein Marktforschungsunternehmen, das unter anderem auch einen jährlichen Bericht über die Anzahl der im Einsatz stehenden Server (sowohl in den USA als auch weltweit) anbietet. IDC ermittelt diese Daten ausgehend von den Verkaufsdaten der Serverhersteller, üblichen Lebensdauern solcher Geräte sowie Marktumfragen [2]. Die Anzahl der installierten Server wird zudem in drei Kategorien aufgeteilt:

- *Volume*-Server (etwa: Massenserver), Server mit Anschaffungskosten von weniger als \$25'000
- *Mid-Range*-Server, Server mit Anschaffungskosten von \$25'000 bis \$500'000
- *High-End*-Server, Server mit Anschaffungskosten von \$500'000 und mehr

Koomey ermittelt nun – basierend auf diesen Daten der Jahre 2003 - 2005 (sowie 2000 als “historischer” Vergleichswert) – in jeder Serverkategorie die durchschnittlichen Verbrauchswerte der sechs häufigsten Servermodelle. Dazu zieht er selber gemessene Werte, solche aus Online-Berechnungstools von Herstellern, solche aus Spezifikationsblättern sowie aus eigener Berechnung ermittelte Werte bei. Aus den dann vorliegenden durchschnittlichen Verbrauchswerten dieser Servermodelle berechnet er das gewichtete Mittel, um zum Gesamtelektrizitätsverbrauch zu gelangen [2].

2.3 Resultate

	2000		2003		2004		2005	
	I	E	I	E	I	E	I	E
Volume	12.2M	39	18.5M	69	23.4M	89	25.9M	101
Mid-range	1.8M	13	1.5M	14	1.2M	13	1.3M	13
High-end	66k	6	62k	6	66k	8	59k	8
Total	14.1M	58	20.1M	90	24.7M	109	27.2M	123

I für installierte Einheiten, E für el. Energieverbrauch in Milliarden kWh

Tabelle 1: Anzahl und Energieverbrauch der weltweit installierten Server 2000, 2003 - 2005 [2]

Es ist zu erkennen dass sich der elektrische Energieverbrauch der Server innert fünf Jahren mehr als verdoppelt hat (Tabelle 1). Vergleicht man diesen Wert mit dem globalen elektrischen Gesamtenergieverbrauch, der sich zwischen 2000 (~13.1 Billionen kWh) und 2005 (~15.7 Billionen kWh) “lediglich” um 20% erhöht hat [1], erkennt man, dass der Verbrauch des ICT Sektors überproportional wächst. Dieser hat 2005 knapp 0.8% des weltweiten elektrischen Energieverbrauchs ausgemacht und es ist abzusehen, dass er weiterhin wachsen wird. Vergleiche dazu auch Abbildung 1.

²International Data Corporation, <http://www.idc.com>

Die Arbeit von *Koomey* basiert auf den verkauften Einheiten professioneller Servermodelle. Google und inzwischen möglicherweise auch andere vergleichbare Unternehmen verwenden in ihren Rechenzentren aber nicht nur konventionelle Server sondern auch solche, die aus Motherboards von Consumercomputern selber zusammengestellt wurden. Eine Schätzung aus dem Jahr 2006 geht davon aus, dass Google insgesamt 450'000 Servern betreibt (also knapp 2% der weltweit eingesetzten Server) [2]. Hierbei ist allerdings nicht bekannt, wieviele davon professionelle Modelle sind. *Koomeys* Arbeit weist in diesem Bereich also eine gewisse Unschärfe auf, die zum generellen Unsicherheitsfaktor der Schätzung noch hinzukommt.

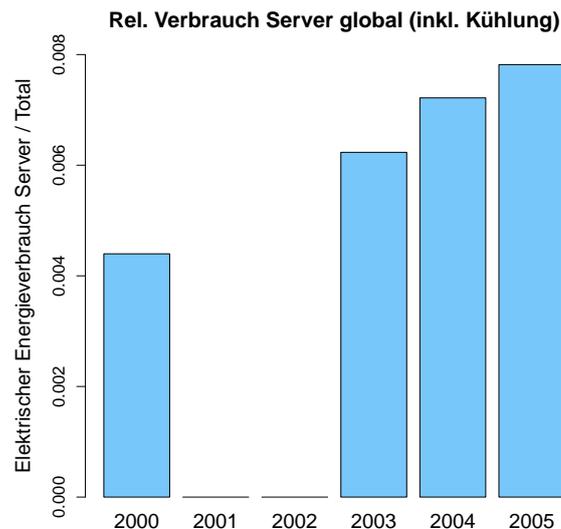


Abbildung 1: Verhältnis elektrischer Energieverbrauch Global / Server 2000, 2003 - 2005 [1], [2]

3 Auswirkungen von ICT in der Industrie

3.1 Ausgangslage

Die Studie der *RWTH Aachen & DIW Berlin* von 2008 [4] untersucht die Auswirkungen des vermehrten Einsatzes von ICT in europäischen Industriebetrieben – der sog. ICT Diffusion – auf deren Energieverbrauch. Das Ziel ist herauszufinden, welches der Effekt auf der Gesamtebene ist; ob Energie durch ICT eher eingespart oder verschwendet wird. Mittels ökonomischer Modelle wird der Einfluss von ICT auf etwa die Produktivität und andere Faktoren verschiedener Industriezweige (z.B. Stahlerzeugung oder Chemie) modelliert. ICT wird dabei als ICT-Kapital betrachtet, also als eine Ressource, die einen gewissen Einfluss auf die Produktionsvorgänge hat. Fallstudien und Sekundärforschung komplementieren die Studie.

3.2 Resultate

Die Resultate der Studie sind eher ernüchternd. Die Autoren stellen fest, dass es sich beim untersuchten Umfeld um ein sehr heterogenes handelt. Die Erkenntnisse seien deshalb eher innerhalb des untersuchten Industriezweigs brauchbar, hätten aber kaum für alle untersuchten Zweige Allgemeingültigkeit.

Aufgrund der komplexen Zusammenhänge seien die Resultate wenig aussagekräftig und liessen sich auch nur auf wenige Länder der EU anwenden. Je nach Industriezweig ist die Auswirkung von ICT unterschiedlich. Die einzige Gemeinsamkeit ist, dass ICT für die Produktivität der Betriebe nur eine sehr untergeordnete Rolle spielt; dominant sind vor allem konventionelle Faktoren wie etwa das eingehende Rohmaterial [4].

3.3 Fallstudie

Die Arbeit untersucht exemplarisch einige Industriebetriebe, darunter auch die Schweizer Warenhauskette Coop. Diese wird hier nun aufgrund ihrer örtlichen Relevanz vorgestellt.

Coop³ ist (nach Migros) die zweitgrösste Schweizer Warenhauskette und beschäftigt mehr als 45'000 Mitarbeiter an über 1500 Standorten. Unter anderem durch steigenden Konkurrenzdruck sah sich Coop genötigt, seine Energieeffizienz zu steigern. Zur Eindämmung des Energieverbrauchs (insb. Heizkosten) ihrer Verkaufslokale, zur Verkürzung der Transportwege und zur Verbesserung der Kundenbindung hat Coop umfassende Modernisierungsmassnahmen – vorwiegend gestützt durch ICT – umgesetzt [4].

3.3.1 Massnahmen

Die von Coop getroffenen und besprochenen Massnahmen sind auf den Gebieten Transport und Logistik, E-Business und Gebäudeverwaltung angesiedelt.

Die umfangreichsten Massnahmen im Bereich Transport und Logistik haben keinen direkten Zusammenhang zu ICT; nämlich die Anschaffung etlicher moderner Lastwagen sowie die streckenoptimierte Neuplatzierung der Coop Verteilzentren. Im Zusammenhang mit ICT erwähnenswert ist die Konsolidierung der Lagerverwaltungssoftware auf ein einzelnes Produkt und die Einführung neuer rechnergestützter Leitsysteme in den Lagerhäusern.

Die Massnahmen im Bereich des E-Business haben naturgemäss eine enge Verknüpfung mit ICT. Sie tragen aber nicht in erster Linie zur Verringerung des Energieverbrauchs bei, sondern dienen vorwiegend der Kundenbindung. Deshalb sind sie hier lediglich der Vollständigkeit halber aufgelistet: Coop hat einen Internetshop namens “coop@home”⁴ sowie ein Kundenbindungsprogramm namens “Supercard” eingeführt und experimentiert mit Selbstbedienungskassen (unter dem Markennamen “passabene”).

Die für den Energieverbrauch relevantesten Massnahmen wurden im Bereich der Gebäudeverwaltung getätigt: Coop baut neue Warenhäuser nur noch nach energieeffizienter Manier. In allen neu gebauten oder umgebauten Coop Warenhäusern (pro Jahr werden ungefähr 100 Standorte modernisiert) wurden umfangreiche, standardisierte Energiekontrollsysteme (namens “MESA”⁵) eingebaut. Diese sammeln sämtliche Verbrauchs- und Umweltdaten (elektrische Energie, Wasser, Wärme, Kälte, Temperatur, etc.) des Warenhauses, übernehmen Aufgaben zur Gebäudesteuerung (etwa das Schliessen der Jalousien nach Ladenschluss), und gleichen diese Daten mit einem zentralen System ab. Verteilte Sensoren in den Verkaufs- und Lagerräumen registrieren sofort, wenn etwa ein Temperaturverlust aufgrund einer nicht geschlossenen Kühlraumtür verursacht wird und benachrichtigen den Hausdienst. Die neu gebauten Warenhäuser sind zudem mit modernen Energieumwälzsystemen ausgerüstet welche bezüglich Heizenergie annähernd autark sind. Hier geschieht die Kühlung im Sommer etwa mit der Abkälte aus den Kühlanlagen und die Heizung im Winter mit Sonnenenergie und Abwärme aus diversen Geräten.

³<http://www.coop.ch>

⁴<http://www.coopathome.ch/>

⁵Management für Energie, Sicherheit und Automation, <http://www.opit.ch/fm/mesa/mesa-box/>

3.3.2 Resultate

Coop konnte mit seinen Massnahmen durchaus beachtliche Resultate erzielen. Obwohl die Verbesserungen auch durch geschickte Verknüpfung von Heiz- und Kühlquellen sowie durch eine moderne Bauweise der Gebäude erreicht wurden, spielt doch der Beitrag der ICT eine gewichtige Rolle. Ohne die Steuerfähigkeiten der neuen Energiekontrollsysteme wären die Resultate in dieser Form nicht möglich gewesen. Durch die Umsetzung der oben beschriebenen Massnahmen der Gebäudeverwaltung sind 2007 bereits 10 Warenhäuser bezüglich Heizenergie selbstversorgend. Ein signifikanter Anteil der Coop Baumärkte wurde ebenfalls mit dieser Steuertechnologie ausgerüstet. Deren Heizenergieaufwand konnte um die Hälfte reduziert werden. Insgesamt gesehen konnte der Aufwand an Heizenergie um 18% gesenkt werden. Gleichzeitig stieg aber der Aufwand an elektrischer Energie um fast 3% (2003) [4].

An diesem Beispiel ist ersichtlich, dass mit Hilfe von ICT industrielle Anlagen (hier primär die Gebäudeheizung) effizienter betrieben werden können. Dadurch kann häufig Energie etwa in Form von Brennstoffen eingespart werden. Gleichzeitig aber erkaufte man sich diese Einsparung durch erhöhten Aufwand elektrischer Energie – solcher zum Betrieb der ICT selber, aber auch solcher für Hilfstechnologien (Motoren, Pumpen etc.), die nötig sind, um die “Entscheidungen” der ICT in der physischen Welt relevant werden zu lassen.

4 Energiemanagement durch Virtualisierung

4.1 Motivation

Wir haben in den vorhergehenden Kapiteln festgestellt, dass der Energiebedarf von ICT stetig zunimmt. Dies sowohl weil im Dienstleistungssektor immer mehr und mächtigere Server zum Einsatz kommen [2] als auch weil im Industriesektor vermehrt ICT zur Steuerung von Anlagen verwendet wird und dort einen Transfer von anderen Energieträgern nach elektrischer Energie verursacht [4]. Wir beschäftigen uns nun mit der Frage, wie der Energieverbrauch dieser ICT verringert werden könnte.

Wir betrachten in der Folge das Szenario eines typischen Rechenzentrums, das hunderte einzelner Server beherbergt. Auf einem Server läuft i.d.R. ein Betriebssystem mit einer Unternehmensanwendung oder einer Datenbank, üblicherweise gekapselt in einer virtualisierten Umgebung – einer VM⁶. Ein Grund für den grossen Energiebedarf ist mitunter, dass solche Server mit grossen Leistungsreserven betrieben werden, um auch für Spitzenlasten gerüstet zu sein. So läuft der typische Server die meiste Zeit des Tages mit einer Last von weniger als 20% [3]. Man könnte nun einwenden, dass, wenn ein Server schon mit solch einer geringen Last betrieben wird, auch der Energieverbrauch entsprechend geringer sein muss. Tatsächlich aber spielt es vom Energieverbrauch her keine grosse Rolle, wie hoch die Auslastung einer VM ist (vgl. dazu Abbildung 2). Es würde sich lediglich eine signifikante Einsparung erzielen lassen, wenn es gelinge würde, einige Server zeitweilig in den Ruhezustand zu versetzen oder zumindest die Prozessorleistung (physisch oder aber virtuell in der VM) zu skalieren (Abbildung 3). Server in den Ruhezustand zu versetzen hat zudem den Vorteil, dass die entsprechenden Plattformen keine Wärme mehr erzeugen. Dies verringert auch den Kühlungsbedarf der Umgebung.

Wir betrachten nun zwei Ansätze, wie durch geschickte Kontrolle und Beeinflussung virtualisierter Umgebungen in Serververbänden Energie gespart werden kann.

⁶Virtual Machine, Virtuelle Maschine

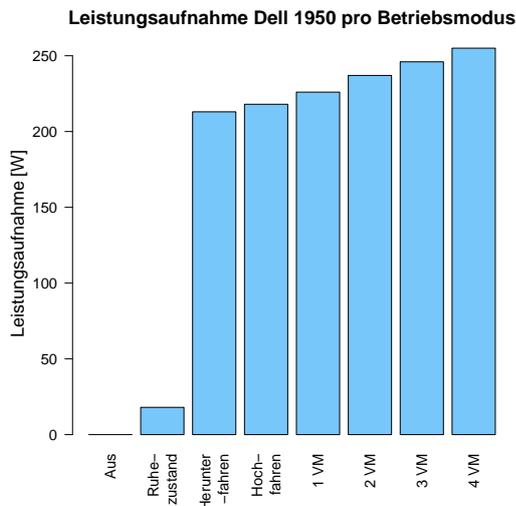


Abbildung 2: Leistungsaufnahme eines Servers in verschiedenen Betriebsmodi [3]

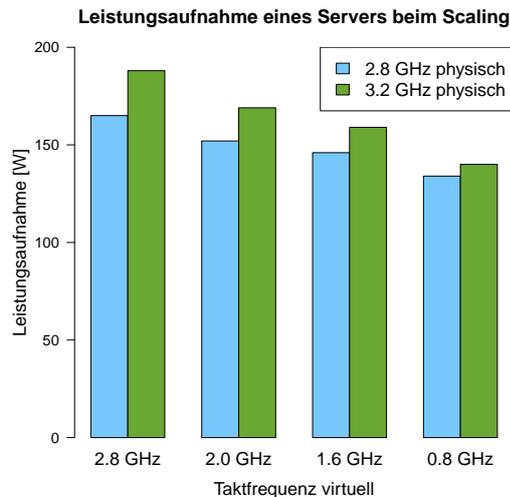


Abbildung 3: Leistungsaufnahme eines Servers bei verschieden skaliert Taktfrequenz [5]

4.2 VirtualPower Architektur

Nathuji und Schwan beschreiben unter dem klingenden Namen “VirtualPower” eine Architektur, die aus einem modifizierten Hypervisor⁷ sowie einer lokalen Kontrollinstanz (*PowerManager-Local* – PM-L) auf jeder physischen Plattform besteht. Zudem existiert eine einzelne übergeordnete Kontrollinstanz, die folglich PM-G – *PowerManager-Global* – genannt wird. Vergleiche dazu Abbildung 4.

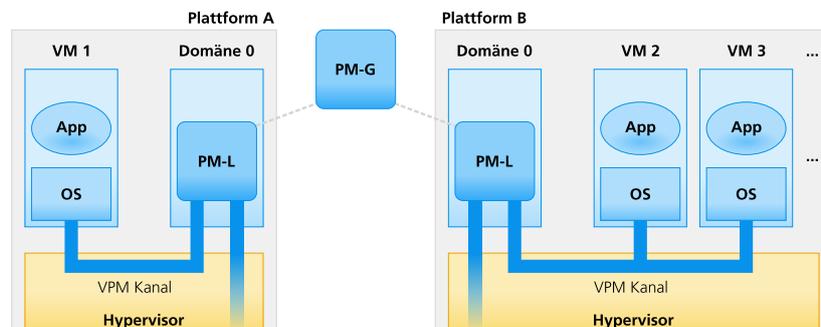


Abbildung 4: Schematische Darstellung der “VirtualPower” Architektur [5]

4.2.1 Methode

Moderne Betriebssysteme sind in der Lage, die zugrundeliegende Hardware den momentanen Bedürfnissen entsprechend zu steuern. So kann etwa der Prozessortakt gesenkt werden, falls nicht die volle Leistung benötigt wird.

Die grundsätzliche Idee von “VirtualPower” ist nun, dass solche Steuerbefehle von Gastbetriebssystem-

⁷Instanz, welche pro Plattform die VM kontrolliert

men (OS in den VM) vom Hypervisor nicht unmittelbar interpretiert werden, sondern an den PM-L in Domäne 0 weitergeleitet werden. Diese Weiterleitung wird als VPM⁸-Kanal betrachtet. Der PM-L trifft nun aufgrund der Bedürfnisse der verschiedenen VM⁹ sowie der vom PM-G gemeldeten Auftragslage¹⁰ eine regelbasierte Entscheidung, inwiefern die physische Taktfrequenz der Plattform (*Hardware Scaling*) und wie die virtuellen Taktfrequenzen der einzelnen VM (*Soft Scaling*) zu wählen sind. Diese Informationen werden dann dem Hypervisor zur Ausführung übermittelt.

Nebst diesen beiden Mechanismen hat der PM-G auch die Möglichkeit, VM zu verschieben (*Konsolidierung*) oder in einen Ruhezustand zu versetzen. So lassen sich etwa energieeffizientere Plattformen als bevorzugte Ziele für die VM definieren.

4.2.2 Resultate

Tests wurden auf einer “Xen” Virtualisierungsumgebung mit einem Transaktionssystem und einem mehrschichtigen Webservice-Benchmark namens “RUBiS”¹¹ durchgeführt. Beim Transaktionssystem – einer eher idealisierten Umgebung – gelangten generierte Aufträge zunächst in eine Warteschlange. Die getesteten Server entnahmen dieser Warteschlange nun die Aufträge zur Verarbeitung. Der PM-G nimmt die Länge der Warteschlange als Mass für die momentane Last. Bei “RUBiS” wird die Auslastung des Webservers als Mass für die momentane Last genommen. Das System wird also reaktiv gesteuert.

Beim Transaktionssystem waren im Testszenario unter Ausnützung aller verfügbaren Effekte (Hard- und Softscaling sowie Konsolidierung) Energieeinsparungen von bis zu 34% möglich. Beim Test mit “RUBiS” konnten beim Energieverbrauch bis zu 31% Einsparungen erreicht werden, dies allerdings unter angeblich erheblichen Einschränkungen bei den sog. QoS¹²-Anforderungen [5].

Die vorgestellte Lösung erreicht also Energieeinsparungen von bis zu einem Drittel, kann aufgrund ihrer reaktiven Natur allerdings nur für spezielle, nicht reaktionskritische Aufgabengebiete eingesetzt werden.

4.3 Energie sparen mit vorausschauender Kontrolle

Um Konzepte wie das oben vorgestellte “VirtualPower” auch für hochverfügbare Umgebungen attraktiv zu machen, spinnen *Kusic et al.* in ihrer Arbeit von 2009 [3] den Gedanken weiter und erweiterten die Idee um eine vorausschauende Kontrollkomponente. Diese soll sicherstellen, dass zu jedem Zeitpunkt genügend Rechenleistung bereitgestellt wird, um die Aufträge innerhalb einer definierten Zeitspanne abzuarbeiten.

4.3.1 Methode

Das System soll also in der Lage sein, eine gewisse QoS aufrecht zu erhalten und gleichzeitig aber ungenutzte Kapazität so weit wie möglich zu verringern. Dies indem es VM geschickt konsolidiert und ungenutzte Plattformen abschaltet. Zu diesem Zweck wurde eine beschränkt vorausschauende Regelung (*Limited Lookahead Control* – LLC) eingeführt, welche periodisch eine Optimierungsrechnung durchführt. Dadurch kann das System (mittels verschiedener Parameter) in jene Richtung gelenkt werden, welche die vorher definierten Ziele am besten abdeckt.

⁸Virtual Power Management

⁹Hardwaresteuerbefehle der VM werden als Vorschläge (*Hints*) betrachtet

¹⁰diese wird je nach Art der Anwendung definiert, etwa durch der Länge der Eingangswarteschlange

¹¹<http://rubis.ow2.org/>, bestehend aus einer Umgebung mit Webserver und Datenbank

¹²Quality of Service, etwa Dienstqualität, Mass für ein Qualitätsmerkmal (z.B. die Verfügbarkeit) eines Dienstes

Die Geschäftsrealität von Internetdiensten wird durch zwei verschiedene Dienstqualitäten modelliert – Silber und Gold genannt. Wird eine Anfrage für einen dieser Dienste innerhalb eines gewissen Zeitfensters ausgeführt (200 ms bei Silber, 300 ms bei Gold), resultiert daraus ein Gewinn (0.005 Cent bei Silber, 0.007 Cent bei Gold). Überschreitet die Ausführung die jeweilige Zeitgrenze, resultiert ein Verlust (0.001 Cent bei Silber, 0.003 Cent bei Gold). Silber stellt dabei ein verbreiteter Dienst für viele Kunden dar wogegen Gold eine Art Premiumdienst mit weniger Kunden und geringeren Peaks abbildet. Eine solche Vereinbarung wird *Service Level Agreement* – SLA – genannt.

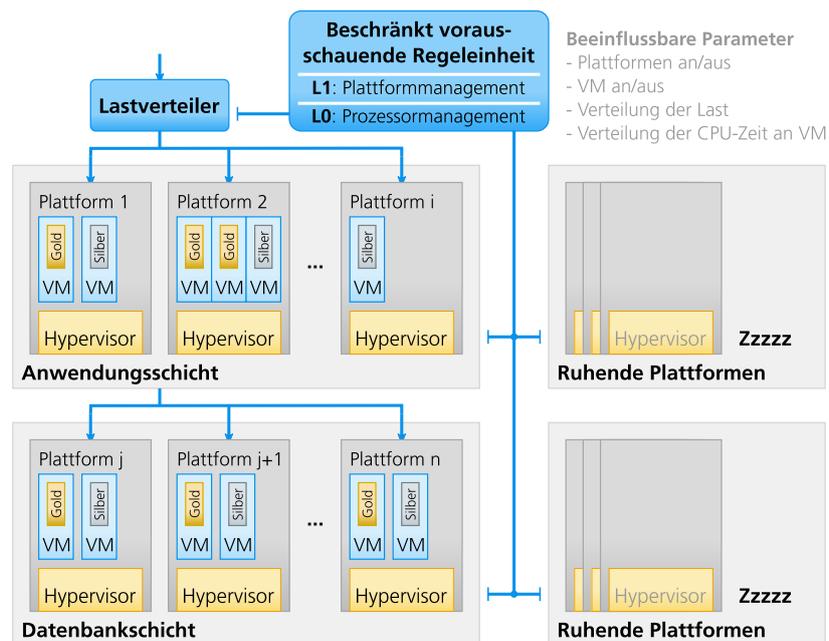


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Architektur mit einer beschränkt vorausschauenden Regeleinheit [3]

Die Architektur des Systems ist wie folgt (vgl. Abbildung 5): Plattformen sind in Anwendungsschicht und Datenbankschicht unterteilt und können entweder in Betrieb oder aber im Ruhezustand sein. Sind sie in Betrieb, unterhalten sie eine oder mehrere VM wobei eine VM entweder eine Anwendung für den Gold- oder den Silberdienst betreibt. Einkommende Aufträge werden durch einen Lastverteiler an die verschiedenen VM verteilt. Das zentrale Element der Architektur – die LLC – registriert dabei alle Betriebsparameter und berechnet für die nahe Zukunft die relevanten Werte wie die zu betreibenden Plattformen, die Anzahl und Art der VM, die Verteilung von Prozessorzyklen an die einzelnen VM, die Verteilung der Last an die VM etc. Nachdem sie das optimale Szenario berechnet hat, veranlasst sie die entsprechenden Änderungen im System, so etwa das Aufwecken einer Plattform, das Konsolidieren von VM oder einfach die Anpassung der Prozessorzyklen einiger sich in Betrieb befindlicher VM.

Der interessanteste Teil der Architektur ist zweifellos die LLC. Diese hat die Aufgabe, die Last auf das System in naher Zukunft möglichst genau vorherzusagen und entsprechende Massnahmen zu treffen. Sie stützt sich dabei auf mehrere Informationen wie etwa die momentane Lastsituation sowie eine Vorhersage der zukünftigen Anzahl der eintreffenden Anfragen. Diese wird mit Hilfe eines sog. Kalmanfilters geschätzt. Es handelt sich dabei um einen störungsresistenten Schätzer, der vorher allerdings mit der typischen Lastkurve trainiert werden muss.

Die LLC ist dabei hierarchisch in zwei Teile gegliedert; die globale Einheit L1 sowie die lokale Ein-

heit L0. Diese berechnen mit verschiedener Reichweite zukünftige Szenarien in Schritten (Schrittgrösse für L0: 30s und für L1: 150s). L0 ist dafür vorgesehen die Prozessorleistung der VM zu beeinflussen. Diese Einstellungen können innert Sekunden getätigt werden und benötigen auch keine grosse Berechnungsleistung, es reicht deshalb, wenn L0 einen einzelnen Schritt in die Zukunft berechnet. L1 hingegen steuert die Aktivierung der Plattformen und VM. Diese benötigen knapp 3 Minuten resp. knapp 2 Minuten um aufzustoßen. L1 berechnet deshalb mindestens drei Schritte in die Zukunft, damit bei einer drohenden Laststeigerung die Zeit ausreicht, zusätzliche Plattformen und VM zu aktivieren.

Die (vereinfachte) Kostenformel pro Schritt und möglicher Konfiguration sieht so aus:

$$\textit{Profit} := \textit{SLA}_{\textit{Belohnung}} - \textit{SLA}_{\textit{Bestrafung}} - \textit{Energieaufwand} - \textit{Wechselkosten},$$

Da diese pro Schritt für alle möglichen (oder zumindest plausiblen) Kombinationen – es handelt sich hierbei um ca. 1000 Möglichkeiten – und für jeden Schritt wieder neu durchgeführt werden muss, entsteht eine Art Baumstruktur (vergleichbar mit dem Berechnungsbaum eines Schachspiels) welche sich immer weiter verzweigt. Die LLC benötigt für die Berechnung der Schritte eines Szenarios mit fünf Plattformen jeweils ca. 10s. Bei zehn involvierten Plattformen beträgt die Berechnungszeit bereits um 2.5 Minuten¹³.

4.3.2 Resultate

Tests wurden auf einer “VMWare” Virtualisierungsumgebung mit einem Benchmark-Produkt namens “Trade6” und einer DB2 Datenbank durchgeführt. Diese unterstützen Clustering, so dass VM mit einer Instanz einfach hinzugefügt oder entfernt werden konnten.

Im Durchschnitt konnte der Energieverbrauch über eine 24h Periode um 22% verringert werden, wobei die gesteckten (aber nicht näher spezifizierten) QoS Ziele angeblich erreicht wurden. SLA-Verletzungen bewegten sich im Mittel um 1% für Silber und 1.8% für Gold. Bei Tests mit weniger gut vorhersehbaren Eingangslasten konnte mit Hilfe eines zusätzlich eingeführten Risikofaktors ein vorsichtigeres Verhalten erzwungen werden. Dadurch wurde der Energieverbrauch zwar wieder erhöht, dafür konnte auch die Leistungsfähigkeit erhöht und die SLA Verletzungen vermindert werden [3].

5 Schlussfolgerungen

Der elektrische Energieverbrauch der weltweit eingesetzten Server kann mit Hilfe deren Verkaufszahlen abgeschätzt werden. Die von *Koomey* angestellten Berechnungen für 2000 - 2005 weisen auf ein vergleichsweise überproportionales Wachstum der ICT (repräsentiert durch Serveranlagen) hin. Diese hat bereits 2005 knapp 0.8% des weltweiten elektrischen Energieverbrauchs ausgemacht. Ursachen für das Wachstum sind vorwiegend ein vergrössertes Bedürfnis an Datenverarbeitungskapazität etwa für Dienste des Internets oder Forschungs- und Rüstungsaufgaben aber auch der vermehrte Einsatz von ICT in der Industrie. Obwohl für die letzten paar Jahre keine genauen Daten verfügbar sind, ist absehbar, dass der Energieverbrauch der ICT mittelfristig zu einem Problem wird: Einerseits drohen generelle Energieverfügbarkeitsprobleme, andererseits wird es aber auch schwieriger, die immer leistungsfähigeren und kleineren Server angemessen zu kühlen; ein Problem mit dem sich Rechenzentren auseinandersetzen müssen.

Ebenfalls verschärfend auf die Energiesituation wirkt sich der Umstand aus, dass ICT in der Industrie häufig dazu eingesetzt wird, den Bedarf anderer Energieformen zu ungunsten elektrischer Energie ein-

¹³Die Arbeit untersucht zur Bewältigung grösserer Cluster auch die Verwendung eines neuronalen Netzwerks, lässt dieses Skalierungsproblem ansonsten aber offen

zusparen. Das besprochene Fallbeispiel der Schweizer Warenhauskette Coop illustriert dies geradezu beispielhaft: Coop rüstet seine Warenhäuser mit Hochtechnologie aus um Heiz- und Kühlenergie einzusparen. In der Tat kann der Heizenergieaufwand (u.a. Heizöl) um knapp ein Fünftel reduziert werden. Gleichzeitig steigt aber der Bedarf an elektrischer Energie um fast 3%. Natürlich ist es bewundernswert, dass das Unternehmen seinen Energieaufwand insgesamt gesehen reduzieren konnte, und als erster Schritt sicher eine hervorragende Leistung. Man wird aber nicht darum herum kommen, auch den Energiebedarf der ICT selber in Angriff zu nehmen.

Diesem Ziel haben sich die letzten beiden vorgestellten Arbeiten verschrieben. Sie streben eine Reduktion des Energieverbrauchs von Servern in Rechenzentren an, indem die Prozessortakte schlecht ausgelasteter Server reduziert, oder Anwendungen geringen Leistungsbedarfs auf weniger Server konsolidiert werden. Dadurch können die überzähligen Server abgeschaltet werden. Dies ist ganz im Sinne einer nachhaltigen Nutzung der ICT; Leerkapazitäten werden eliminiert. Die Technologie welche dies ermöglicht ist die der Virtualisierung. *Nathuji und Schwan* zeigen mit einem den Servern übergeordneten Kontrollmechanismus, dass durch Reduktion der Taktfrequenzen und besagter Konsolidierung etwa ein Drittel Energie gespart werden kann. Dies passiert allerdings auf Kosten der Antwortzeiten, weshalb die Lösung in komplexeren Umgebungen mit Vorsicht angewandt werden muss.

Kusic et al. führen die Idee fort und präsentieren eine verwandte Lösung, welche u.a. mittels trainierter Daten versucht, die zukünftige Auslastung vorherzusehen. Entsprechend dem vorhergesehenen Wert werden Plattformen und VM des Verbunds bereitgestellt oder zurückgezogen sowie Prozessortakte gesetzt und Last verteilt. Die anzustrebende Konfiguration wird mit einer Optimierungsrechnung ermittelt, bei der eine auf SLA basierende Kostenfunktion eine wichtige Rolle spielt. Mit dieser Lösung sinkt die Energieersparnis (im Gegensatz zu derjenigen von *Nathuji und Schwan*) zwar auf einen Fünftel, dafür fallen auch die Verletzungen der SLA in einen Bereich, der die Architektur für kommerziellen Einsatz attraktiv macht.

Mit der vorgestellten Lösung ist es einem Rechenzentrum also möglich, unter gewissen Bedingungen ohne zusätzlichen Aufwand an Gerätschaften ein Fünftel der aufgewendeten Energie zu sparen. Die Nachhaltigkeit kann vergrößert werden indem die bereitgehaltenen Kapazitäten für Spitzenzeiten zu Randzeiten abgeschaltet werden.

Literatur

- [1] International Energy Statistics. [http://tonto.eia.doe.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=2&pid=2&aid=2&cid=AS, CA, CH, FR, GM, IN, JA, RS, UK, US, ww, &syid=2000&eyid=2005&unit=BKWH](http://tonto.eia.doe.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=2&pid=2&aid=2&cid=AS,CA,CH,FR,GM,IN,JA,RS,UK,US,ww,&syid=2000&eyid=2005&unit=BKWH).
- [2] J. G. Koomey. Estimating Total Power Consumption by Servers in the U.S. and the World. Technical report, Stanford University, February 2007.
- [3] D. Kusic, J. O. Kephart, J. E. Hanson, N. Kandasamy, and G. Jiang. Power and Performance Management of Virtualized Computing Environments via Lookahead Control. *Journal of Cluster Computing*, 10:1–15, March 2009.
- [4] P. D. R. Madlener. The implications of ICT for Energy Consumption. Technical report, RWTH Aachen University and DIW Berlin, September 2008.
- [5] R. Nathuji and K. Schwan. VirtualPower: Coordinated Power Management in Virtualized Enterprise Systems. *Proceedings of the 21st ACM SIGOPS Symposium on Operating Systems Principles (SOSP 2007)*, pages 265–278, October 2007.