AEQUO - Adaptive und energieeffiziente Verteilung von virtuellen Maschinen in OpenStack-Umgebungen

Kai Spindler, Sebastian Rieger

Fachbereich Angewandte Informatik
Hochschule Fulda
Marquardtstraße 35
36039 Fulda
[vorname.nachname]@informatik.hs-fulda.de

Abstract: Servervirtualisierungs- und Cloud-Infrastrukturen nehmen einen immer größeren Teil der IT-Infrastruktur von Rechenzentren ein. Für Rechenzentren sind dabei insbesondere die laufenden Betriebskosten (vorrangig für Strom und Klimatisierung) ein zunehmender Faktor. Lösungen für eine Steigerung der Energieeffizienz in Cloud-Infrastrukturen ermöglichen eine Reduzierung dieser Betriebskosten und eine optimale Auslastung der Rechenzentrumsinfrastruktur. In der vorliegenden Arbeit wird eine Lösung beschrieben, die Leistungsmetriken und insbesondere Energieeffizienzparameter in einer OpenStack-Cloud-Infrastruktur überwacht und durch effiziente Verlagerung von virtuellen Maschinen optimiert. Bestehende OpenStack-Infrastrukturen können durch die entwickelte Software-Komponente um eine adaptive Verteilung der darin betriebenen virtuellen Maschinen erweitert werden.

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren hat die Verwendung von Cloud-Diensten insbesondere durch die anwachsende Zahl mobiler Endgeräte (Smart Phones, Tablets) mit denen die Dienste genutzt werden weiter zugenommen. Um einen schnellen und fehlerfreien Zugriff auf die Dienste zu gewährleisten, sind dabei im Hintergrund leistungsstarke Rechenzentren erforderlich. Dies bedeutet mit Blick auf die Kosten für Strom und Klimatisierung in Rechenzentren eine immer größere Herausforderung. Hierfür sind insbesondere leistungsfähige IT-Virtualisierungslösungen und Rechnernetze erforderlich, um die Dienste effizient und leistungsstark über das Internet zur Verfügung zu stellen. In Bezug auf die Effizienz sind hierbei vor allem die Kosten für Strom und Klimatisierung der erforderlichen IT-Ressourcen (z.B. Server-, Storage-, Netzkomponenten) zu betrachten. Ein lastabhängiges Zu- und Abschalten dieser Ressourcen bzw. eine adaptive Steuerung von deren Leistungsaufnahme (vgl. Drosselung der Taktgeschwindigkeit, Energiesparfunktionen etc.) kann somit helfen die Kosten für den Betrieb von virtualisierten IT-Infrastrukturen bzw. virtuellen Maschinen zu reduzieren und eine gleichmäßige Auslastung zu erzielen. Darüber hinaus können adaptive Verfahren, die die virtuellen Maschinen und Cloud-Dienste je nach Anforderung skalieren, auch deren Leistungsfähigkeit insgesamt optimieren.

Dieses Paper präsentiert einen entsprechenden Ansatz, um in einer OpenStack-basierten Cloud-Infrastruktur virtuelle Maschinen im Hinblick auf die Energieeffizienz zu verteilen und zu skalieren. Hierfür wurde ein Prototyp entwickelt, der zum einen eine Monitoring-Funktion (als Sensor) implementiert, bzw. für die Energieeffizienz relevante Parameter innerhalb der OpenStack-Infrastruktur (Temperatur resp. Kühlung, Auslastung von Compute, Storage und Netzkomponenten) überwacht, und zum anderen eine Management-Funktion (als Aktor) realisiert, die virtuelle Maschinen über die einzelnen Nodes der Cloud-Infrastruktur verteilen, verlagern sowie skalieren kann. Hierbei können zusätzlich einzelne Funktionen bzw. Komponenten innerhalb der Infrastruktur anhand des aktuellen Energiebedarfs zu- oder abgeschaltet bzw. gedrosselt werden. Der Prototyp verwendet für die Steuerung der Cloud-Ressourcen die Standard OpenStack API. Zusätzlich wird die Nutzung des Open Cloud Computing Interface (OCCI) Standards evaluiert, wodurch eine Adaptierung für andere Cloud-Umgebungen bzw. eine Anwendung in Cloud-Föderationen bestehend aus unterschiedlichen Cloud-Anbietern möglich wird.

Die folgenden Abschnitte geben eine Einführung in verteilte OpenStack-Umgebungen und die Energieeffizienz von Private Cloud-Umgebungen. Abschnitt 2 geht auf Anforderungen an eine energieeffiziente Verteilung von virtuellen Maschinen in OpenStack-Umgebungen ein. Dabei werden Anknüpfungspunkte an die standardmäßig verfügbare Verteilung in OpenStack sowie der aktuelle Stand der Forschung in diesem Bereich beschrieben. Anschließend beschreibt Abschnitt 3 die von unserem Prototyp überwachten Energieeffizienzparameter in OpenStack-Umgebungen. Dies umfasst die Umsetzung der in diesem Paper genannten Anforderungen sowie erste Auswertungen des Testbetriebs. Abschließend runden ein Fazit sowie ein Ausblick dieses Paper ab.

1.1 Virtualisierung in verteilten OpenStack-Umgebungen

OpenStack [Ope14] bietet eine Open Source Lösung für die Realisierung von Public und Private Cloud-Umgebungen. Ein weit verbreitetes Klassifizierungsmodell für Cloud Computing bildet die Definition des NIST [MG11]. Hierbei werden fünf essenzielle Charakteristika, drei Service-Modelle und vier Bereitstellungsmodelle des Cloud Computing unterschieden. Im Fokus dieses Papers stehen in Bezug auf die Bereitstellungsmodelle Private Clouds, da hier durch den Betrieb im eigenen Rechenzentrum die Energieeffizienz bzw. Energiekosten eine zentrale Rolle spielen. OpenStack adressiert primär „Infrastructure as a Service“ (IaaS), so dass dieses Service-Modell im Vordergrund dieses Papers steht. In Bezug auf die Charakteristika beschreibt das NIST Paper die Cloud als einen einfachen, ubiquitären, on-demand über das Netz bereitgestellten Pool aus konfigurierbaren den Computing Ressourcen: Server, Storage, Netze, Anwendungen und Dienste. Die Infrastruktur bzw. IaaS bilden hiervon nur Server (OpenStack Nova), Storage (OpenStack Swift und Cinder) und Netze (OpenStack Neutron) ab, deren Energieverbrauch somit in diesem Paper optimiert wird. Als Anwendungen bzw. Dienste wird darauf aufbauend vorrangig der Betrieb von virtuellen Maschinen (VMs) als Nova Instances auf den Servern der OpenStack-Umgebung betrachtet. VMs können hierbei auf bestimmten Servern platziert werden sowie innerhalb ihres Lebenszyklus auf andere Server migriert oder gestoppt wer-

den. Auch eine Skalierung der Leistungsfähigkeit der VMs wird unterstützt. VMs können dabei auf Server in verschiedenen Racks oder auch über verschiedene Standorte verteilt und einheitlich innerhalb der OpenStack-Umgebung verwaltet werden.

1.2 Energieeffizienz von Private Cloud-Umgebungen

Die Energieeffizienz von Rechenzentren und IT-Systemen ist nicht zuletzt seit der Einführung des Schlagworts „Green-IT“ vermehrt in den Vordergrund gerückt [HS10] [HF12]. Ein wesentliches Problem bildet die Verlustleistung der betriebenen Systeme (vgl. Power Usage Effectiveness, kurz PUE [WDD12]) bzw. die Effizienz, mit der der Strom tatsächlich für die vom Rechenzentrum betriebenen Dienste und nicht für die zusätzlich notwendige Infrastruktur darum herum verwendet wird. Darüber hinaus stellen steigende Energiekosten sowie Folgekosten für die Klimatisierung der Systeme und unterbrechungsfreie Stromversorgung eine große Herausforderung für den Betrieb moderner und immer größer werdender Rechenzentren dar. Der Energiebedarf innerhalb von OpenStack-Umgebungen wird in Bezug auf diese Kriterien insbesondere hardwareseitig durch die im vorherigen Abschnitt genannten IaaS Komponenten Server (z.B. CPU, RAM, NIC), Storage (z.B. HDD, NAS, SAN) und Netze (z.B. Router, Switches, Links) bestimmt. Darüber hinaus ist die Effizienz der innerhalb dieser Komponenten verwendeten Spannungswandler bzw. Netzteile ein wesentlicher Faktor, sowie die erforderliche Energie für die Abführung der Verlustleistung resp. Klimatisierung. Die detaillierte Messung der Energieeffizienz beim Betrieb von virtuellen Maschinen wurde bereits von einigen verwandten Arbeiten wie z.B. [VT13] bewertet. Weitere verwandte Arbeiten in diesem Bereich werden im Abschnitt 2.3 genannt. In Bezug auf die fünf charakteristischen Eigenschaften von Cloud-Lösungen nach [MG11], wird die Energieeffizienz von Private Cloud-Umgebungen in diesem Paper definiert als:

On-demand self-service Energie muss für die eigenständig von den Kunden verwalteten Systeme unmittelbar und nach Bedarf zur Verfügung gestellt werden, ohne dass Anpassungen durch das Rechenzentrum erforderlich werden.

Broad network access Cloud-Services werden dezentral über Netze, insb. dem Internet, durch eine Vielzahl von Anwendern genutzt. Hohe Zugriffsbandbreiten treiben hierbei auch die Energiekosten (z.B. pro aktivem Port eines Switches inkl. SFP, Linkstrecke etc.) in die Höhe. In Bezug auf die Netzinfrastruktur können entfernte VMs über eine Vielzahl von Vermittlern (Router, Switches) topologisch miteinander gekoppelt sein, wodurch der Energiebedarf einer VM indirekt steigt.

Resource pooling Komponenten werden gemeinsam von mehreren Kunden verwendet. Dies ermöglicht eine Aufteilung und Einsparung von Energiekosten.

Rapid elasticity Bedingt durch das Resource Pooling muss u.U. leistungsfähigere Hardware verwendet werden, die nur dann in Bezug auf die Anschaffungs- und Betriebskosten (inkl. Strom, Klimatisierung) effizient ist, wenn sie optimal ausgelastet wird.

Measured service Energiekosten sollten gegenüber dem Kunden transparent und feingranular abgerechnet werden können.

OpenStack Server (Compute Nodes) greifen auf unterschiedliche Storage- und Netz-Komponenten zu. Abhängig von der Position, Ausführung und Konfiguration dieser Komponenten entsteht ein unterschiedlicher Energieverbrauch. Dies erhöht insb. den Overhead und damit die Energiekosten für Redundanzlösungen wie z.B. zusätzliche Rechenzentrumsstandorte, deren Anbindung (Data Center Interconnect) und den Abgleich der Services und Daten über die verteilten Lokationen (Replikation etc.). Hierbei können auch schwankende Energiekosten an den Standorten (vgl. Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien oder Smart Grid) sowie unterschiedliche klimatische Bedingungen (bzw. damit verbundene Kosten für die Klimatisierung) Einfluss auf die energieeffiziente Platzierung und Verlagerung von virtuellen Maschinen in Private Cloud-Umgebungen haben.

2 Anforderungen an die energieeffiziente Verteilung von VMs

Bezüglich der energieeffizienten Verteilung von virtuellen Maschinen in OpenStack-Umgebungen werden in den folgenden Abschnitten die standardmäßig von OpenStack unterstützten Verteilungskriterien erläutert sowie Anforderungen für eine Steigerung der Energieeffizienz und Ergebnisse verwandter Arbeiten in diesem Bereich diskutiert.

2.1 Platzierung von virtuellen Maschinen in OpenStack durch den Nova Scheduler

OpenStack Nova bietet standardmäßig mehrere Verfahren für die Platzierung von virtuellen Maschinen auf den Compute Nodes. Diese werden durch den *nova-scheduler* [Fou14b] definiert. Default-Einstellung ist der sog. *FilterScheduler*, der Compute Nodes für die VMs anhand von deren Standort, verfügbarem RAM und unterstützen Funktionen und Ressourcen (z.B. bestimmte Storage- oder Netzwerk-Anforderungen) auswählt. Zusätzlich können weitere Filterkriterien, wie z.B. die Trennung von VMs auf zwei unterschiedlichen physikalischen Hosts oder umgekehrt deren Gruppierung auf einem gemeinsamen Host definiert werden. Auch die Migration von VMs kann durch den Scheduler unterstützt werden. Sowohl bei der Platzierung als auch bei der Migration werden allerdings von Nova keine Energieeffizienzparameter in die Scheduling-Entscheidung einbezogen. Auch eine automatische Optimierung bzw. Ausbalancierung der Auslastung durch entsprechende Migrationen zur Steigerung der Energieeffizienz wird standardmäßig nicht unterstützt.

2.2 Optimierte Platzierung von VMs im Hinblick auf die Energieeffizienz

Naheliegende Metriken in Bezug auf die effiziente Verteilung von virtuellen Maschinen (VMs) in einer Virtualisierungsumgebung sind die CPU- sowie RAM-Auslastung der Hy-

pervisoren. Ein einfaches Beispiel für die Veranschaulichung von deren Relevanz bilden zwei Hypervisoren auf denen nur eine VM läuft und die Hypervisoren jeweils zu 10% auslastet. Es ist offensichtlich, dass in diesem Szenario unnötig Energie verschwendet wird, da beide VMs auch gemeinsam auf einem einzelnen Hypervisor laufen könnten. Der andere Hypervisor könnte dann in einen Ruhezustand (vgl. ACPI S3 oder S4) versetzt werden. In der Realität sind entsprechende Szenarien oft weitaus komplexer. So befinden sich in der Regel mehrere VMs auf einem Hypervisor und es werden Auslastungen von ca. 80% oder mehr angestrebt. Häufig werden jedoch auch obere Grenzen für die Konsolidierung und somit Auslastung definiert, um Kapazitätsengpässe bei Lastspitzen zu vermeiden. Um Kapazitätsengpässe zu vermeiden, ist es zusätzlich notwendig Vorhersagen über die Auslastung zu treffen. Hierfür wurden bereits Algorithmen in verwandten Arbeiten präsentiert, die in Abschnitt 2.3 genannt werden. Der in diesem Paper präsentierte Prototyp ermöglicht die Überwachung von Metriken bzgl. des aktuellen Energieverbrauchs in Cloud-Umgebungen, die dann durch diese Algorithmen verwendet werden können, um eine optimale und energieeffiziente Platzierung der VMs zu unterstützen.

Die Abwärme von Servern ist ein wesentlicher Kostenfaktor beim Betrieb von Rechenzentren, da ein Hauptteil der verbrauchten Energie eines Rechenzentrums für deren Kühlung verwendet wird. Weiterhin können durch die immer engere Bauweise von Servern und die steigende Leistungsaufnahme immer leistungsfähigerer Hardware Probleme entstehen, bei denen die Hitze nicht mehr ausreichend abgeführt werden kann. Dies kann zur Verkürzung der Lebensdauer der Systeme beitragen. Eine gute Verteilung des Kühlaufwands in einem Rechenzentrum, z.B. unterstützt durch eine optimale Verteilung von VMs, kann zur Senkung der Kosten für die Kühlung beitragen [Bel13].

Durch eine Überwachung des Netzwerkverkehrs wird darüber hinaus ermöglicht die Energiekosten zu senken, indem VMs die oft miteinander kommunizieren, auf dem gleichen bzw. auf nahe beieinander liegenden Compute Nodes platziert werden. Außerdem können durch eine intelligente Verteilung Teile des Netzwerks abgeschaltet (z.B. Ports, Links) oder in ihrer Leistung gedrosselt werden. Standards zu Energy Efficient Ethernet (802.3az) sind beispielsweise in der Lage Ports mit weniger Traffic in einen Modus zu versetzen, bei dem auf Kosten höherer Latenz weniger Strom verbraucht wird. Durch ein adaptives Management dieser Funktion lässt sich die Energieeffizienz steigern ohne dauerhaft höhere Latenzen in Kauf nehmen zu müssen. In Umgebungen, die ein Multipathing einsetzen, können zudem in Zeiten niedriger Netzauslastung Netzwerkkomponenten (Switches, Router, Links) abgeschaltet bzw. zusätzliche Energiesparfunktionen genutzt werden.

Erneuerbare Energien können darüber hinaus in die energieeffiziente Verteilung von VMs in Cloud-Umgebungen einbezogen werden. Beispielsweise könnten so günstige Energiepreise durch einen Überschuss von Wind- oder Solarenergie an einzelnen Standorten genutzt werden. Zusätzlich könnten Temperaturunterschiede an den Standorten durch eine entsprechende Verschiebung der VMs die Klimatisierungs- und damit Energiekosten weiter reduzieren. Möglich wird diese transparente Verlagerung der VMs durch zunehmend verfügbare standortübergreifende Layer 2 Netztopologien sowie neue Ansätze für deren adaptives Management. Entsprechende Lösungen wie z.B. Software-defined networking können die Netzwerklast anwendungsabhängig auf Flow-Ebene steuern und damit auch eine Steigerung der Energieeffizienz erzielen [HSM+10].

2.3 Verwandte Arbeiten

Die energieeffiziente Verteilung von virtuellen Maschinen innerhalb von OpenStack-Umgebungen wird ebenfalls in [Bel13] und [BB10] betrachtet. Allerdings wird in diesen Ansätzen keine temperatur- oder netzabhängige Platzierung der VMs umgesetzt. Zusätzlich lässt sich die dort entwickelte Erweiterung nicht im aktuellen Havana Release von OpenStack verwenden. Darüber hinaus ist eine Integration weiterer Entscheidungskriterien in den Scheduling-Prozess bzw. die Verwendung von Standard-APIs und Komponenten von OpenStack nicht vorgesehen. Eine allgemeinere und detaillierte Bewertung der für die Energieeffizienz von Cloud-Umgebungen relevanten Faktoren findet sich in [SFW+13] und [SH13]. Diese bieten allerdings keine Testumgebung für OpenStack. Faktoren für den konkreten Energiebedarf von VMs sowie deren Migration werden z.B. in [VT13] präsentiert.

Die Optimierung der Energieeffizienz von Rechenzentrumsnetzen durch eine adaptive Platzierung von VMs wurde bereits in [MKDK11], [FLL+13] und [AG13] diskutiert. In diesem Paper wird ein Prototyp für OpenStack vorgestellt, der diese Ansätze mit der Überwachung und Steuerung von Power Management Funktionen wie z.B. ACPI und 802.3az kombiniert, wie sie z.B. in [CRN+10] evaluiert wurden. Der Prototyp ermöglicht durch die Kombination bestehender Power Management Lösungen und eine adaptive Zu- bzw. Abschaltung und Drosselung der Cloud-Ressourcen eine Steigerung der Energieeffizienz in OpenStack-basierten Private Cloud-Umgebungen. Dabei wird neben dem Power Management auch eine Überwachung der Temperatur in Rechenzentren unterstützt, um so zusätzlich die Klimatisierung zu optimieren und die Energiekosten weiter zu senken.

3 Adaptive Verteilung von VMs in OpenStack durch AEQUO

AEQUO (lat. ausgewogen) bezeichnet einen Prototypen innerhalb eines Forschungsprojekts der Hochschule Fulda, der u.a. das energieeffiziente Verlagern von virtuellen Maschinen in OpenStack unterstützt. Im Folgenden werden die durch den Prototypen umgesetzten Anforderungen sowie die realisierte Testumgebung erläutert.

3.1 Testumgebung

Für das Deployment von OpenStack erwies sich die Rackspace Private Cloud [Clo14] als tragfähige Lösung. Im nachfolgend beschriebenen Proof of Concept wurden drei Rechner verwendet, wovon zwei als dezidierte Nova Compute Nodes dienen. Der dritte Rechner wurde als Hypervisor (VMware ESXi) installiert, der virtuelle Maschinen (Ubuntu 12.04 LTS) für den Nova Controller, den Chef Server (zuständig für das Deployment) sowie Cinder (Block Storage) und Neutron (Networking) bereitstellt. Abbildung 1 zeigt die in der Testumgebung verwendeten Funktionskomponenten.

Um zwischen den Nova Compute Nodes die VMs während des Betriebs unterstützt durch

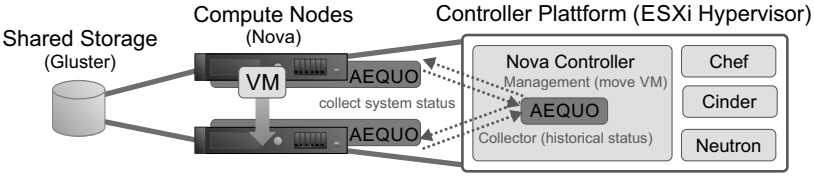

Abbildung 1: Architektur der AEQUO Testumgebung

die AEQUO Komponenten umziehen zu können (Live-Migration) ist es notwendig, einen Shared Storage zwischen den Nova Compute Nodes einzurichten [Fou14a]. Um den Shared Storage für den Nova Controller und die Compute Nodes zur Verfügung zu stellen wurde Gluster [GLU14] verwendet.

3.2 Realisierung

Für den Proof of Concept wurde AEQUO als Python Script entwickelt. AEQUO besteht aktuell aus drei Bestandteilen. Der erste Teil ist der *Collector Daemon*, welcher auf jedem Nova Compute Node läuft und dort Leistungsmetriken (z.B. Temperatur, Last) sammelt. Die anderen zwei Komponenten werden auf dem Nova Controller ausgeführt, wobei der *Aggregator Daemon* die Leistungsdaten der Controller sammelt und in eine SQLite Datenbank schreibt. Die dritte Komponente, der *Balancing Daemon*, läuft ebenfalls auf dem Nova Controller, holt sich regelmäßig Leistungsdaten der VMs zu den letzten x Messpunkten aus der Datenbank und sorgt gegebenenfalls dafür, dass VMs umgezogen werden. Abbildung 2 verdeutlicht diesen Aufbau.

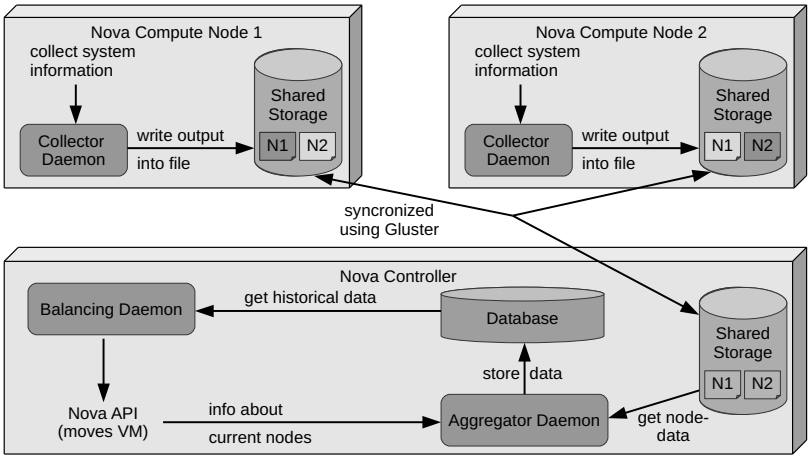

Abbildung 2: AEQUO Aufbau und Architektur

Die Datenbank in die der *Aggregator Daemon* die Daten schreibt, besteht hauptsächlich aus drei Tabellen, siehe Abbildung 3. Die Tabelle „measure“ beinhaltet die historischen Messdaten, welche später genutzt werden, um Entscheidungen zu treffen ob eine VM um-

gezogen wird oder nicht. Die Tabelle „nodedata“ enthält generelle Informationen zu den einzelnen VMs. In die dritte Tabelle „vmmove“ wird ein Log über die durchgeführten Umzüge geschrieben.

Feld	Typ
hostname	TEXT
ip	TEXT
status	TEXT

(a) Tabelle: nodedata

Feld	Typ
hostname	TEXT
time	INTEGER
temp1	REAL
...	

(b) Tabelle: measure

Feld	Typ
hostname	TEXT
time	INTEGER
moved_from	TEXT
moved_to	TEXT

(c) Tabelle: vmmove

Abbildung 3: Datenbankstruktur von AEQUO

Der *Collector Daemon*, welcher auf den Compute Nodes installiert wird, benötigt keine gesonderte Konfiguration, da er die Leistungsmetriken direkt aus dem System sammelt und anschließend in eine Datei im Shared Storage schreibt. Die gesammelten Metriken werden im JSON Format in den Dateien abgelegt. Hierbei legt jeder Compute Node seine eigene Datei an. Für spätere Implementierungen wäre auch eine direkte Kommunikation der Clients mit dem *Aggregator Daemon* denkbar. Das Script, welches auf dem Nova Controller aufgeführt wird, kann zum einen mit entsprechen Parametern als *Aggregator Daemon* gestartet werden, der die Messdaten sammelt, und zum anderen als *Balancing Daemon*, der die Daten aus der Datenbank abruft, um die Maschinen gegebenenfalls umzuziehen. Weiterhin können dem Script Parameter übergeben werden, um die letzten Messwerte anzuzeigen sowie eine einfache Kontrolle der korrekten Funktionsweise des Systems zu ermöglichen. Zusätzlich wurde eine Funktion im Script implementiert, um die Datenbank mit Metainformationen über alle aktuell laufenden VMs zu füllen und so neue VMs automatisiert zu erfassen. Das Script überprüft darüber hinaus beim Starten eventuell fehlende Abhängigkeiten und legt gegebenenfalls eine neue Datenbank an. Das Hauptaugenmerk bei der Entwicklung bestand auf der Verwendung neuer Metriken und Energieeffizienzparameter (wie z.B. der Temperaturentwicklung) sowie deren Kombination mit bestehenden Power Management Lösungen, um eine energieeffiziente Verschiebung von VMs in aktuellen OpenStack-Installationen zu unterstützen.

4 Fazit und Ausblick

OpenStack hat bereits seinen festen Standplatz bzgl. des Einsatzes für Private Cloud-Umgebungen in großen IT-Infrastrukturen, wie z.B. der des CERN [Bel14], gefunden. 200 Unternehmen sind gemäß [Bel14] allein an der OpenStack-Entwicklung direkt beteiligt. OpenStack ist modular und lässt sich somit um eigene Ideen erweitern, die auch zurück in das Projekt fließen können. Ein aktueller Gegenstand der Forschung in diesem Bereich ist die adaptive Verteilung von Maschinen in der Cloud. Erste Ansätze hierfür zeigt z.B. *OpenStack Neat* [Bel13]. Während OpenStack Neat primär auf die effiziente Auslastung der Compute Nodes eingeht, wird in diesem Paper ein Prototyp vorgestellt, der OpenStack zusätzlich um Funktionen für eine adaptive Verteilung von virtuellen Maschinen

für eine Optimierung der Energieeffizienz per Live-Migration erweitert. Durch die direkte Verwendung der Standard-API und -Komponenten von OpenStack kann der Prototyp im Gegensatz zu den anderen Lösungen direkt in bestehenden OpenStack-Installationen verwendet werden. Er wird dies bezüglich in einem Testbed an der Hochschule Fulda verwendet. Hierbei sammelt der Prototyp Leistungsmetriken und kontrolliert Power Management Funktionen, die die Nodes innerhalb einer OpenStack-Umgebung zur Verfügung stellen, um eine energieeffiziente Verteilung der virtuellen Maschinen und eine Reduzierung der erforderlichen Energiekosten für Compute, Storage und Netzwerk-Komponenten in verteilten Private Clouds zu evaluieren. Neben den Metriken der Systeme kann auch die Umgebungstemperatur (z.B. in Serverschränken) gemessen werden, um diese in die optimale Verteilung von VMs einzubeziehen. Durch die Verwendung von intelligenten Steckdosen kann der Prototyp die Leistungsaufnahme und Energiekosten exemplarisch im Testbed bestimmen. Für die zukünftige Entwicklung des Prototyps wird in diesem Zusammenhang auch die Verlagerung virtueller Maschinen an andere geografische Orte, an denen z.B. die Stromkosten momentan geringer sind oder bessere klimatische Bedingungen vorliegen, bewertet. Hierbei bildet die Optimierung der Energiekosten für die erforderlichen Netzinfrastrukturen einen wichtigen Schwerpunkt. Durch die Reduzierung der erforderlichen Energie für Links und Netzwerkkomponenten zwischen kommunizierenden VMs sowie die Drosselung von aktuell nicht benötigten Redundanzsystemen, kann die Energieeffizienz in OpenStack-Umgebungen zusätzlich gesteigert werden. Zukünftig ist geplant die durch den Prototypen realisierten Erweiterungen als Plug-Ins für die für die Orchestrierung- (Heat) und Monitoring- bzw. Telemetrie-Komponenten (Ceilometer) von OpenStack umzusetzen. Durch die Verwendung des Open Cloud Computing Interfaces (OCCI) wird hierbei zukünftig zusätzlich auch eine Bewertung und Optimierung des Energiebedarfs von virtuellen Maschinen in föderierten Private und Hybrid Cloud-Lösungen über Standort- und Providergrenzen hinweg möglich.

Literatur

[AG13] M. A. Adnan und R. Gupta. Path Consolidation for Dynamic Right-Sizing of Data Center Networks. In *Sixth International Conference on Cloud Computing (CLOUD)*, Seiten 581–588. IEEE, 2013.

[BB10] Anton Beloglazov und Rajkumar Buyya. Energy efficient resource management in virtualized cloud data centers. In *Proceedings of the 2010 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing*, Seiten 826–831. IEEE Computer Society, 2010.

[Bel13] Anton Beloglazov. Energy-Efficient Management of Virtual Machines in Data Centers for Cloud Computing. *Dissertation*, Feb. 2013.

[Bel14] Tim Bell. Tim Bell on the Importance of OpenStack for CERN. `http://www.isgtw.org/feature/tim-bell-importance-openstack-cern/`, 2014. 11.4.2014.

[Clo14] Rackspace Private Cloud. OpenStack Private Cloud Software Free Download Page by Rackspace. `http://www.rackspace.com/cloud/private/openstack_software/`, 2014. 11.4.2014.

[CRN+10] K. Christensen, P. Reviriego, B. Nordman, M. Bennett, M. Mostowfi und Juan A. Maestro. IEEE 802.3az: the road to energy efficient ethernet. *Communications Magazine, IEEE*, 48(11):50–56, 2010.

[FLL+13] W. Fang, X. Liang, S. Li, L. Chiaraviglio und N. Xiong. VMPlanner: Optimizing virtual machine placement and traffic flow routing to reduce network power costs in cloud data centers. *Computer Networks*, 57(1):179–196, 2013.

[Fou14a] OpenStack Foundation. OpenStack Configuration Reference. Post-Installation Configuration. `http://docs.openstack.org/havana/config-reference/content/configuring-openstack-compute-basics.html#true-live-migration-kvm-libvirt`, 2014. 11.4.2014.

[Fou14b] OpenStack Foundation. OpenStack Manual. OpenStack Configuration Reference. Scheduling. `http://docs.openstack.org/trunk/config-reference/content/section_compute-scheduler.html`, 2014. 11.4.2014.

[GLU14] GLUSTER Incorporation. Gluster Storage Connector for OpenStack Resource Page. `http://gluster.org/community/documentation/index.php/OSConnect`, 2014. 11.4.2014.

[HF12] Ralph Hintemann und Klaus Fichter. Energieverbrauch und Energiekosten von Servern und Rechenzentren in Deutschland. `https://www.bitkom.org/files/documents/Kurzstudie__Borderstep_l_Rechenzentren(1).pdf`, 2012. 11.4.2014.

[HS10] Ralph Hintemann und Holger Skurk. Energieeffizienz im Rechenzentrum. In *Green-IT, Virtualisierung und Thin Clients*, Seiten 19–56. Springer, 2010.

[HSM+10] Brandon Heller, Srinivasan Seetharaman, Priya Mahadevan, Yiannis Yiakoumis, Puneet Sharma, Sujata Banerjee und Nick McKeown. ElasticTree: Saving Energy in Data Center Networks. In *NSDI*, Jgg. 3, Seiten 19–21, 2010.

[MG11] Peter Mell und Timothy Grance. The NIST definition of cloud computing (draft). *NIST special publication*, 800(145):7, 2011.

[MKDK11] V. Mann, A. Kumar, P. Dutta und S. Kalyanaraman. VMFlow: leveraging VM mobility to reduce network power costs in data centers. In *NETWORKING 2011*, Seiten 198–211. Springer, 2011.

[Ope14] OpenStack. OpenStack Open Source Cloud Computing Software. `http://www.openstack.org/`, 2014. 11.4.2014.

[SFW+13] Aibo Song, Wei Fan, Wei Wang, Junzhou Luo und Yuchang Mo. Multi-objective virtual machine selection for migrating in virtualized data centers. In *Pervasive Computing and the Networked World*, Seiten 426–438. Springer, 2013.

[SH13] Nongmaithem Ajith Singh und M Hemalatha. Reduce Energy Consumption through Virtual Machine Placement in Cloud Data Centre. In *Mining Intelligence and Knowledge Exploration*, Seiten 466–474. Springer, 2013.

[VT13] Daniel Versick und Djamshid Tavangarian. CAESARA-Combined Architecture for Energy Saving by Auto-Adaptive Resource Allocation. *GI-Edition*, Seite 31, 2013.

[WDD12] Marc Wilkens, Gregor Drenkelfort und Lars Dittmar. Bewertung von Kennzahlen und Kennzahlensystemen zur Beschreibung der Energieeffizienz von Rechenzentren. `http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2012/3573/pdf/IZE_3_wilkens.pdf`, 2012. 11.4.2014.