Überblick

Infrastructure as a Service (IaaS)

- Bereitstellung von Hardware-nahen Ressourcen
  - Virtuelle Maschinen auf Systemebene
  - Zuverlässiger und hochverfügbarer Datenspeicher
- Angestrebtes Preismodell: *Pay-as-you-go*
  - Abrechnung nach tatsächlich verbrauchten Ressourcen
  - Keine Fixkosten für Anschaffung, Betrieb und Wartung

  → Kosten orientieren sich im Optimalfall am Gewinn
- Dynamische Skalierbarkeit in beide Richtungen
  - Hinzufügen weiterer virtueller Maschinen bei Bedarfsspitzen
  - Herunterfahren von virtuellen Maschinen bei zu geringer Auslastung
- Literatur

Peter Sempolinski and Douglas Thain
A comparison and critique of Eucalyptus, OpenNebula and Nimbus
Proceedings of the 2nd International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom '10), S. 417–426, 2010.

Herausforderungen

- Kompromiss bei der Platzierung von virtuellen Maschinen
  - Viele virtuelle Maschinen auf demselben Rechner → **hohe Auslastung**
  - Möglichst gleichmäßige Aufteilung der virtuellen Maschinen auf die vorhandenen Rechner → **geringe Beeinflussung** der VMs untereinander
  - In geringer geographischer Nähe zum Nutzer → **niedrige Latenz**
  - Geographisch weit entfernt von anderen virtuellen Maschinen derselben Anwendung → **hohe Ausfallsicherheit** des gesamten Dienstes
- Im Folgenden betrachtet
  - Wie kann eine weltumspannende Cloud-Infrastruktur mit Datenzentren auf verschiedenen Kontinenten realisiert werden?
  - Wie lässt sich die durch Virtualisierung erzielte Isolation auf Netzwerke von virtuellen Maschinen ausdehnen?
  - Wie läuft die Cloud-interne Kommunikation zwischen Datenzentren ab?

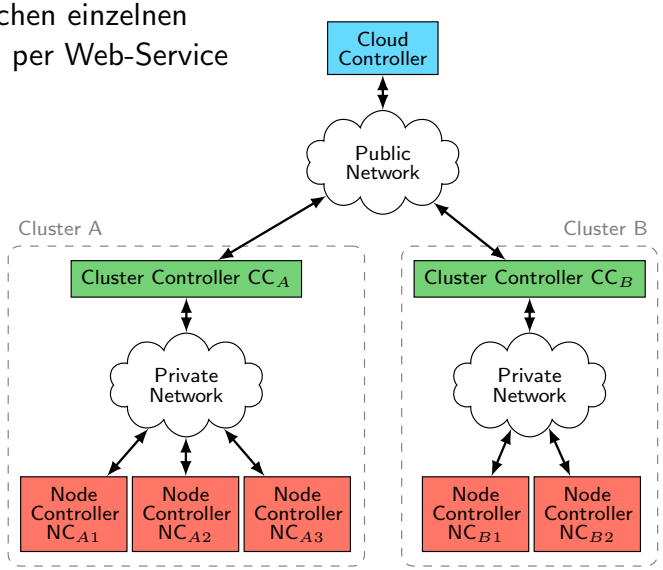
Eucalyptus

- Motivation
  - Einsatz von proprietären Implementierungen in kommerziellen IaaS-Clouds
  - Kaum Informationen über den Aufbau solcher Systeme vorhanden
  - Beschränkte Zugangsmöglichkeiten für Forscher
- Eucalyptus
  - Framework zur Verwaltung privater bzw. hybrider Clouds
  - Zielgruppe: Universitäten und kleinere Firmen
  - Anlehnung an Amazon EC2 bzw. Amazon S3
    - `eucatools` für Interaktion mit dem Framework
    - Client-Schnittstelle für Datenspeichersystem
- Literatur

Daniel Nurmi, Rich Wolski, Chris Grzegorczyk, Graziano Obertelli et al.
The Eucalyptus open-source cloud-computing system
Proceedings of the 9th International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid '09), S. 124–131, 2009.

Architektur

- Kommunikation zwischen einzelnen Komponenten erfolgt per Web-Service
- Controller-Hierarchie
  - Cloud
  - Cluster
  - Node
- *Walrus*
  - Datenspeicher
  - Archiv für Images virtueller Maschinen
  - Zugriff von inner- und außerhalb der Cloud möglich



Komponenten

- *Cloud Controller*
  - Zuständigkeitsbereich: komplette Eucalyptus-Cloud
  - Schnittstelle zum Cloud-Nutzer bzw. -Administrator
    - Authentifizierung von Nutzern
    - Verwaltung von virtuellen Maschinen
- *Cluster Controller*
  - Zuständigkeitsbereich: Gruppe von Rechnern [Ausgangspunkt: Region in Amazon EC2]
  - Bearbeitung von Anfragen des Cloud Controller
    - Auswahl der Node Controller für den Start einer virtuellen Maschine
    - Analyse der Kapazitäten für bestimmte VM-Typen
  - Konfiguration und Überwachung von *Virtual Network Overlays*
- *Node Controller*
  - Zuständigkeitsbereich: (einzelner) lokaler Rechner
  - Bearbeitung von Anfragen des zugehörigen Cluster Controller
    - Starten und Stoppen virtueller Maschinen
    - Berichte über Zustände lokaler virtueller Maschinen
    - Übersicht über Ressourcen (z. B. Anzahl an CPUs, freier Festplattenspeicher)

Start einer virtuellen Maschine

- Cloud Controller
  - Empfang einer Anfrage vom Nutzer
  - Überprüfung der Verfügbarkeit von Ressourcen
  - Reservierung der für die VM benötigten Ressourcen
  - Senden einer Anweisung an den Cluster Controller die VM zu starten
  - Nach Bestätigung: Aktualisierung der Ressourceninformationen
- Cluster Controller
  - Auswahl des Rechners, auf dem die VM gestartet werden soll
  - Anwendung der *First-Fit*-Strategie
- Node Controller
  - Bereitstellung des VM-Image auf dem Zielrechner (Varianten)
    - Transfer aus dem Image-Archiv von Walrus
    - Verfügbarkeit im lokalen Image-Cache
  - Konfiguration des Netzwerks (zusammen mit dem Cluster Controller)
  - Anweisung an den VMM das VM-Image zu booten

→ Nutzer kann per `ssh` auf seine virtuelle Maschine zugreifen

Virtual Network Overlays

- Anforderungen
  - **Isolation**: Eine VM eines Nutzers muss mit anderen VMs desselben Nutzers kommunizieren können, jedoch nicht mit VMs anderer Nutzer
  - **Erreichbarkeit**: Mindestens eine virtuelle Maschine jedes Nutzers muss von außerhalb der Cloud erreichbar sein
- Umsetzung mittels *Virtual Network Overlays*
  - Realisierung der Isolation
    - Einrichtung eines separaten virtuellen Netzwerks (VLAN) für jeden Nutzer
    - Jedes virtuelle Netzwerk verwendet ein eigenes IP-Subnetz
    - Cluster Controller
      - Bei Bedarf: Routing zwischen IP-Subnetzen
      - Isolation durch Firewall-Regeln
    - TCP- oder UDP-Tunnel zwischen verschiedenen Clustern
  - Einfluss auf Erreichbarkeit
    - Verwendung privater IP-Adressen → VMs von außen nicht zugänglich
    - Bei Bedarf Adressumsetzung von öffentlichen auf private IP-Adressen

Walrus

- Schnittstelle: Orientierung an Amazon S3
  - Zugriff per REST oder SOAP
  - Verwaltung von Daten in *Objekten* und *Buckets*
  - Verwendung von Amazon-S3-Tools möglich
- Archiv für VM-Images virtueller Maschinen
  - Bestandteile eines VM-Image
    - Root Filesystem
    - Kernel Image
    - Ramdisk Image
  - Ablegen eines VM-Image
    - Komprimierung, Verschlüsselung und Aufteilung
    - Beschreibung des Image in einem *Manifest*
  - Bearbeitung von Node-Controller-Anfragen
    - Zusammenfügen, Verifizieren, Entschlüsselung und Entpacken
    - Transfer des Image zum Node Controller
  - Cache für entschlüsselte VM-Images

OpenFlow Überblick

- Motivation
  - Plattform für Experimente mit neuen Netzwerkprotokollen
  - Einheitlich programmierbare Netzwerkinfrastruktur
  - Trennung zwischen Steuerlogik und eigentlicher Netzwerk-Hardware
- OpenFlow
  - Zentraler Begriff: *Flow*
    - Abstraktion eines Stroms von Netzwerkpaketen
    - Beispiele: Alle Pakete derselben TCP-Verbindung, Ursprungs-/Zieladresse,...
  - Bestandteile
    - Switch mit von außen programmierbarer *Flow-Tabelle*
    - *Controller* zur Steuerung von Switches mittels Einträgen in Flow-Tabellen
    - OpenFlow-Protokoll zur Kommunikation zwischen Switch und Controller
- Literatur

Nick McKeown, Tom Anderson, Hari Balakrishnan, Guru Parulkar et al.
OpenFlow: Enabling innovation in campus networks
SIGCOMM Computer Communication Review, 38(2):69–74, 2008.

OpenFlow Funktionsweise

- Bestandteile eines Eintrags in der Flow-Tabelle
  - Paket-Header
    - Maske der für den Flow charakteristischen Eigenschaften
    - Beispiele: {Ethernet,IP,TCP}-Ursprungs-/Zieladressen
  - Auszuführende Aktion
    - Weiterleitung des Pakets an einen bestimmten Port
    - Kapselung und Weiterleitung des Pakets an den Controller
    - Verwerfen des Pakets
  - Statistiken
    - Anzahl der Pakete und Bytes pro Flow
    - Empfangszeitstempel des neuesten Pakets eines Flow
- Grundlegende Verarbeitungsschritte
  1. Empfang eines Netzwerkpakets
  2. Suche nach einem zu dem Paket passenden Eintrag in der Flow-Tabelle
  3. Falls ein solcher Eintrag existiert: Ausführung der entsprechenden Aktion

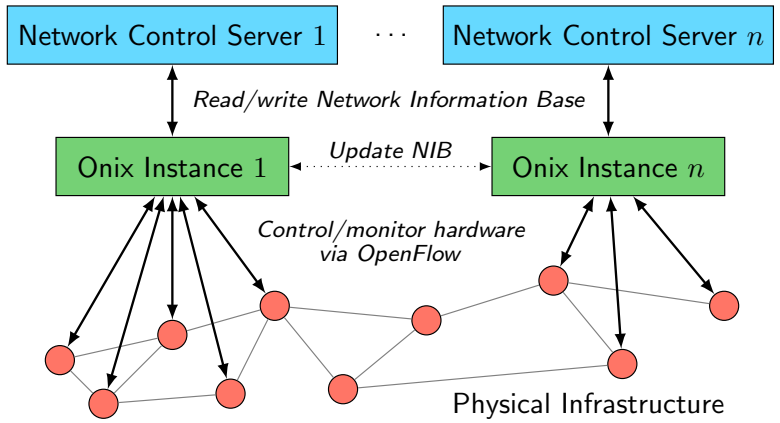
Onix Überblick

- Plattform zur Steuerung Software-definierter Netzwerke
  - Implementierung der Netzwerksteuerlogik als verteilte Anwendung
  - Plattform übernimmt Interaktion mit der Hardware
- Zentrale Datenstruktur: *Network Information Base (NIB)*
  - Repräsentation des aktuellen Netzwerkzustands
  - Verwaltung von Netzwerkelementen (z. B. Knoten, Verbindungen)
  - Zugriff aus Steueranwendungen
    - Aufruf von Methoden zum Lesen und Schreiben von Einträgen
    - Registrierung für Benachrichtigungen über Zustandsänderungen
  - Nach Änderungen am NIB erfolgt die Aktualisierung der entsprechenden physischen Netzwerkelemente in der Regel asynchron
- Literatur

Teemu Koponen, Martin Casado, Natasha Gude, Jeremy Stribling et al.
Onix: A distributed control platform for large-scale production networks
Proceedings of the 9th Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI '10), S. 351–364, 2010.

Onix — Architektur

- Aufbau des Gesamtsystems



- Mechanismen für verbesserte Skalierbarkeit
  - Partitionierung des NIB und Aufteilung auf mehrere Onix-Instanzen
  - Zusammenfassung von Netzwerkteilen zu *aggregierten Knoten*

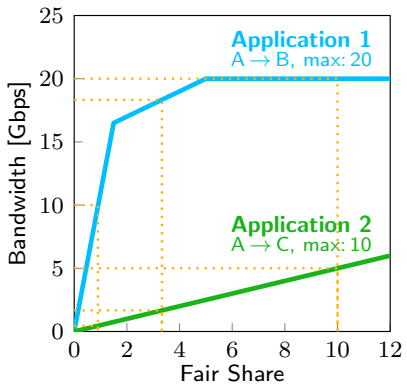
B4 — Überblick

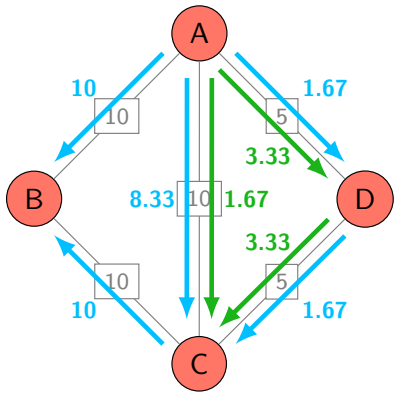
- Nichtöffentliches WAN zur Verbindung der Google-Datenzentren
  - Übertragung von Nutzerdaten-Backups (z. B. E-Mails, Videos)
  - Abwicklung von Zugriffen auf verteilte Datenspeicher
  - Synchronisation von Anwendungszuständen
- Ziele
  - Zentrale Steuerung des Netzwerkverkehrs
  - Effizientere Auslastung der Netzwerkverbindungen
- Umsetzung
  - Implementierung auf Basis von (unter anderem) Onix und OpenFlow
  - Konstruktion eigener B4-Switches aus Standard-Hardware
- Literatur

Sushant Jain, Alok Kumar, Subhasree Mandal, Joon Ong et al.
B4: Experience with a globally-deployed software defined WAN
Proceedings of the 2013 SIGCOMM Conference, S. 3–14, 2013.

B4 — Steuerung von Datenflüssen

- Problem: Aufteilung der Übertragungskapazitäten auf Anwendungen
- Lösung: *Traffic Engineering*
  - Gewichtung von Anwendungen mittels *Bandwidth Functions*
  - Ressourcenzuteilung durch schrittweise Erhöhung der jeweiligen Anteile
  - Dynamische Einrichtung von Netzwerktunneln





[Hinweis: Verkürztes und vereinfachtes Beispiel; ausführlich in [Jain et al.].]

Zusammenfassung

- Infrastructure as a Service
  - Bereitstellung von Rechenkapazität und Datenspeicher
  - Dynamische Skalierbarkeit in beide Richtungen
- Eucalyptus
  - Open-Source-Implementierung für private IaaS-Clouds
  - Schnittstellen: Orientierung an Amazon EC2
  - Hierarchischer Aufbau zur Unterstützung separater Cluster
- Software-definierte Netzwerke
  - OpenFlow
    - Grundidee: Auslagerung und Zentralisierung der Netzwerksteuerlogik
    - Einheitlicher externer Zugriff auf die Flow-Tabellen von Switches
  - Onix: Implementierung der Steuerlogik als verteilte Anwendung
  - B4
    - Weitverkehrsnetz zwischen Google-Datenzentren
    - Steuerung von Datenflüssen mittels (unter anderem) OpenFlow und Onix