

Middleware – Cloud Computing

Cloud-Infrastrukturen

Wintersemester 2025/26

Tobias Distler, Christian Berger

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl Informatik 4 (Systemsoftware)



Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware



FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG

TECHNISCHE FAKULTÄT

Cloud-Infrastrukturen

- Motivation

- Eucalyptus

- Software-definierte Netzwerke

■ Bereitstellung von Ressourcen

- Virtuelle Maschinen (VMs) auf Systemebene
- Zuverlässiger und hochverfügbarer Datenspeicher

■ Dynamische Skalierbarkeit in beide Richtungen

- Hinzufügen weiterer virtueller Maschinen bei Bedarfsspitzen
- Herunterfahren von virtuellen Maschinen bei zu geringer Auslastung

■ Überlegungen 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

■ Herausforderungen

- Wie lässt sich eine skalierbare Cloud-Infrastruktur realisieren?
- Wie können Cloud-Datenzentren effizient miteinander kommunizieren?

Cloud-Infrastrukturen

Motivation

Eucalyptus

Software-definierte Netzwerke

■ Motivation

- Einsatz von proprietären Implementierungen in kommerziellen Clouds
- **Kaum Informationen über den Aufbau** solcher Systeme vorhanden
- Beschränkte Zugangsmöglichkeiten für Forscher

■ Eucalyptus

- Framework für **private bzw. hybride Infrastructure-as-a-Service-Clouds**
- Zielgruppe: Universitäten und kleinere Firmen
- Anlehnung an Amazon EC2 bzw. Amazon S3
 - Kommandozeilen-Tools zur Interaktion mit dem Framework
 - Client-Schnittstelle für Datenspeichersystem

■ Literatur



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

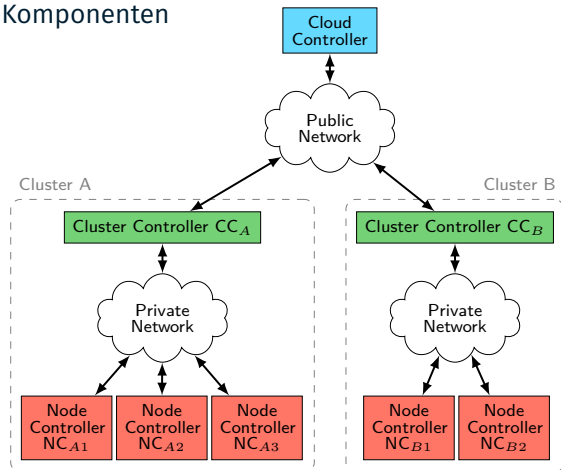
- Kommunikation zwischen einzelnen Komponenten erfolgt per **Web-Service**

- **Controller-Hierarchie**

- Cloud
- Cluster
- Node

- *Walrus*

- **Datenspeicher**
- Archiv für VM-Images
- Zugriff von inner- und außerhalb der Cloud möglich



■ 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**
- Bearbeitung von Anfragen des Cloud-Controller
 - Auswahl der Node-Controller für den Start virtueller Maschinen
 - Analyse der Kapazitäten für bestimmte VM-Typen

■ 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: 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)
 - Verfügbarkeit im lokalen Image-Cache
 - Transfer aus dem Image-Archiv von Walrus
- Anweisung an den Virtual Machine Monitor das VM-Image zu booten

→ Nutzer kann auf die virtuelle Maschine zugreifen (z. B. per ssh)

■ 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**

- Konfiguration und Überwachung durch Cluster-Controller
- Realisierung der Isolation
 - Einrichtung eines separaten virtuellen Netzwerks (VLAN) für jeden Nutzer
 - Jedes virtuelle Netzwerk verwendet ein eigenes IP-Subnetz
 - Cluster-Controller
 - * Isolation durch Firewall-Regeln
 - * Falls erforderlich Routing zwischen IP-Subnetzen
- Einfluss auf Erreichbarkeit
 - Verwendung privater IP-Adressen → VMs von außen nicht zugänglich
 - Bei Bedarf Adressumsetzung von öffentlichen auf private IP-Adressen

Cloud-Infrastrukturen

Motivation

Eucalyptus

Software-definierte Netzwerke

■ 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, Larry Peterson et al.
OpenFlow: Enabling innovation in campus networks
SIGCOMM Computer Communication Review, 38(2):69–74, 2008.

■ Bestandteile eines **Eintrags in der Flow-Tabelle**

- Paket-Header
 - Maske der für den Flow charakteristischen Eigenschaften
 - Beispiele: {Ethernet,IP,TCP}-Ursprungs-/Zieladressen
- **Auszuführende Aktion** (Beispiele)
 - Weiterleitung des Pakets an einen bestimmten Port
 - Verwerfen des Pakets
 - Kapselung und Weiterleitung des Pakets an den Controller
- 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

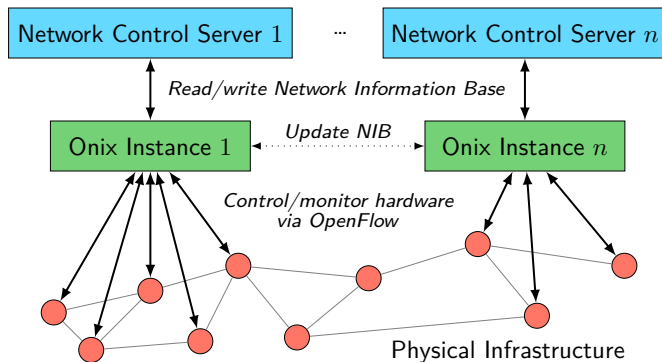
- Plattform zur Steuerung Software-definierter Netzwerke
 - Implementierung der **Netzwerksteuerlogik als verteilte Anwendung**
 - Plattform übernimmt Interaktion mit der Hardware
- Zentrale Datenstruktur: **Network Information Base (NIB)**
 - Repräsentation des aktuellen Netzwerkzustands
 - Verwaltung 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, Leon Poutievski et al.
Onix: A distributed control platform for large-scale production networks
Proc. of the 9th Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI '10),
S. 351–364, 2010.

■ Aufbau des Gesamtsystems



■ Mechanismen für verbesserte Skalierbarkeit

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

■ Nichtöffentliches Netzwerk 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

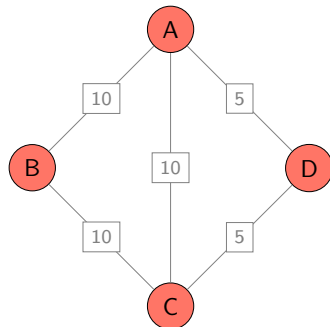
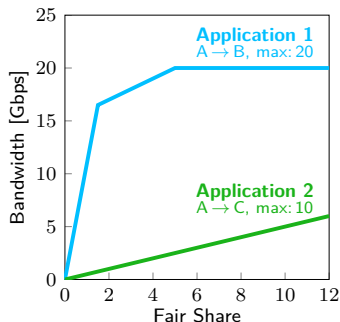
■ Literatur



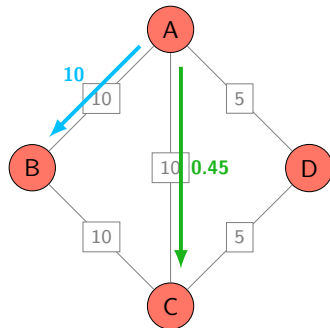
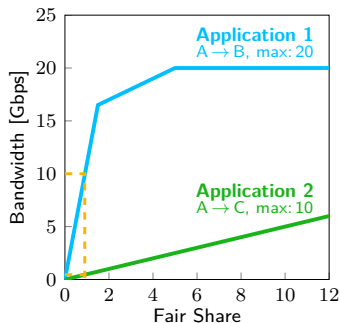
Sushant Jain, Alok Kumar, Subhasree Mandal, Joon Ong, Leon Poutievski, Arjun Singh et al.
B4: Experience with a globally-deployed software defined WAN
Proceedings of the 2013 SIGCOMM Conference, S. 3–14, 2013.

- 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**

- 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**



- 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**



- 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**

