Überblick

„*Vendor Lock-In*“-Problem

- Typische Vorgehensweise bei der Migration eines Diensts in die Cloud
  - Auswahl eines Cloud-Anbieters anhand bestimmter Kriterien (Beispiele)
    - Kostenabschätzung
    - Leistungsgarantien (*Service Level Agreements*)
  - Anpassung des Diensts auf die spezifischen Gegebenheit einer Cloud
  - Probleme
    - Preismodell, Leistungsgarantien,... eines Anbieters können sich ändern
    - Ein Anbieterwechsel ist in der Regel sehr aufwendig
- Mögliche Gründe für erschwerten Anbieterwechsel (Beispiele)
  - Technisch nicht kompatible Cloud-Systeme
    - (Noch) Keine einheitlichen Standards im Einsatz
    - Nutzung anwenderspezifischer Funktionalität
  - Hoher zeitlicher/finanzieller Aufwand [z. B. falls Transfer großer Datenmengen erforderlich.]
- Herausforderungen
  - Wie lässt sich der Aufwand für einen Anbieterwechsel reduzieren?
  - Wie kann ein Dienst auf Basis mehrerer Clouds bereitgestellt werden?

Multi-Cloud Computing

- Alternativ verwendete Begriffe
  - Cloud-of-Clouds
  - Federated Cloud
  - Inter-Cloud
  - ...
- Gründe für den Betrieb einer Multi-Cloud (Beispiele)
  - Abschwächung des „Vendor Lock-In“-Problems
  - Nutzung der Vorzüge unterschiedlicher Cloud-Anbieter
    - Spezifische Funktionalität
    - Geografische Lage von Datenzentren
    - ...
  - Steigerung der Zuverlässigkeit
- Grundlegende Entwicklungskonzepte für Multi-Cloud-Anwendungen
  - Vollständig Cloud-agnostischer Ansatz
  - Einsatz von anbietergewahren Komponenten

Multi-Cloud-Architekturen

- Hybride Architektur
  - Lose gekoppelte Kombination aus privater und öffentlicher Cloud
  - Privater Teil der Cloud
    - Virtualisierte Infrastruktur im firmen-/institutionseigenen Datenzentrum
    - Volle Kontrolle über die bereitgestellten Ressourcen
  - Öffentlicher Teil der Cloud
    - Angemietete Ressourcen in einer oder mehreren öffentlichen Clouds
    - Eingeschränkte Kontrolle über die bereitgestellten Ressourcen
  - Mögliches Anwendungsszenario
    - Ausschließliche Nutzung des privaten Cloud-Teils bei Normalauslastung
    - Bewältigung von Lastspitzen durch Erweiterung des öffentlichen Cloud-Teils
- Literatur

Rafael Moreno-Vozmediano, Rubén S. Montero, and Ignacio M. Llorente
IaaS cloud architecture: From virtualized datacenters to federated cloud infrastructures
Computer, 45(12):65–72, 2012.

Multi-Cloud-Architekturen

- Broker-Architektur
  - Kombinierte Nutzung unterschiedlicher öffentlicher Clouds
  - *Broker*
    - (Transparente) Proxy-Komponente für Zugriff auf unterschiedliche Clouds
    - Auswahl der öffentlichen Cloud, auf der eine Client-Anfrage ausgeführt wird
    - Mögliche Entscheidungskriterien: Kosten, Performanz,...
  - Beispiele
    - Deltacloud
    - Redundant Array of Cloud Storage (RACS)
- Aggregierte Architektur
  - Direkte Kooperation mehrerer privater oder öffentlicher Clouds
  - Bereitstellung gemeinschaftlicher Ressourcen
- Mehrschichtarchitektur
  - Hierarchische Komposition mehrerer privater oder öffentlicher Clouds
  - Abstraktion einer einzelnen großen Cloud

Deltacloud

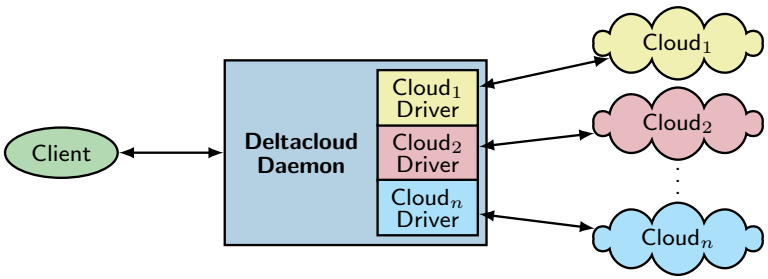
- Problem
  - Keine standardisierten Schnittstellen für IaaS-Clouds
  - Client-APIs variieren zwischen Cloud-Anbietern

  → Aufwendige Portierung einer Anwendung bei Wechsel des Cloud-Anbieters
- Deltacloud
  - Apache-Projekt (Open Source)
  - Proxy-basierter Ansatz
  - Bereitstellung einer Cloud-Anbieter-unabhängigen REST-Schnittstelle
  - Unterstützte Plattformen
    - Virtuelle Maschinen: Amazon EC2, Eucalyptus, Rackspace, OpenStack,...
    - Datenspeicher: Amazon S3, Windows Azure Storage, Google Storage,...
- Web-Seite

  Deltacloud
  `http://deltacloud.apache.org/`

Architektur

- Deltacloud-Daemon
  - Bereitstellung einer einheitlichen Web-Service-Schnittstelle für Clients
  - Platzierungsvarianten
    - Eigene Instanz auf dem Rechner oder im Datenzentrum des Client
    - Öffentliche Deltacloud-Instanzen
- Cloud-spezifische Treiber
  - Übersetzung der Client-Anfragen in Zugriffe auf die jeweilige IaaS-Cloud
  - Nutzung der nativen Schnittstelle eines Cloud-Anbieters



Schnittstelle

- Von spezifischen Clouds abstrahierte API
  - Nicht alle der Abstraktionen sind für alle Cloud-Anbieter verfügbar
  - Zugriff über REST
- Cloud-Anbieter-unabhängige Abstraktionen (Beispiele)

Datenstruktur	Beschreibung
Realm	Beschränkter Ressourcenbereich [vgl. Availability-Zone in Amazon EC2]
Image	Abbild einer virtuellen Maschine (VM)
Instance	Eine sich in der Ausführung befindliche VM
Instance State	Zustand einer VM [z. B. `start`, `running`, `shutting-down`]
Load Balancer	Konfiguration für Lastbalancierung zwischen VMs
Firewall	Regeln für Netzwerkzugriffe auf eine VM
Blob	Speichereinheit für Binärdaten [vgl. Objekt in Amazon S3]
Bucket	Container für Blobs

- Verfügbarer Methodenumfang (Beispiele)
  - Erzeugen, Starten und Herunterfahren von virtuellen Maschinen
  - Lese- und Schreibzugriff auf Cloud-Datenspeicher

Redundant Array of Cloud Storage (RACS)

- Naiver Ansatz für redundante Speicherung von Daten
  - Vollständige Replikation der Daten über mehrere Clouds
  - Nachteile
    - Hohe Kosten für Datenspeicherung und -transfer
    - Hinzufügen eines weiteren Anbieters erfordert Umkopieren aller Daten
- Redundant Array of Cloud Storage (RACS)
  - Fokus auf Anbieterwechsel aus wirtschaftlichen Gründen
    - Wechsel kündigt sich vergleichsweise lange im Voraus an
    - Einbindung möglichst vieler Anbieter sinnvoll
  - Vorbild: Redundant Array of Independent Disks (RAID)
  - Redundante Speicherung von Daten mittels *Erasure-Codes*
- Literatur

Hussam Abu-Libdeh, Lonnie Princehouse, and Hakim Weatherspoon
RACS: A case for cloud storage diversity
Proceedings of the 1st Symposium on Cloud Computing (SoCC '10), pages 229–240, 2010.

Erasure-Codes Einschub

- Allgemeines
  - Verfahren zur Vorwärtsfehlerkorrektur
  - Einsatzbereiche (Beispiele): Datenübertragung, -speicherung
  - Beispiel *Reed-Solomon-Codes*: RAID 6, CDs,...
- Grundlegender Ansatz
  - Zerlegung eines zu speichernden Objekts O in m gleichgroße Teile
  - Berechnung von $n > m$ Fragmenten basierend auf den m Teilen
  - Besondere Eigenschaft des Abbildungsverfahrens: Die originalen m Teile lassen sich aus m beliebigen der n Fragmente rekonstruieren

→ Kein Datenverlust solange höchstens $n - m$ Fragmente verloren gehen

- Speicherbedarf abhängig von m und n
  - Faktor $f = \frac{n}{m}$ im Vergleich zur nicht-redundanten Speicherung
  - Beispiel: Verteilung auf 7 Anbieter, Tolerierung eines Weg- bzw. Ausfalls
    - $m = 6, n = 7 \Rightarrow f \approx 1.17$
    - Vergleich: $f = 7$ [7 Anbieter] bzw. $f = 2$ [Tolerierung eines Ausfalls] bei naivem Ansatz

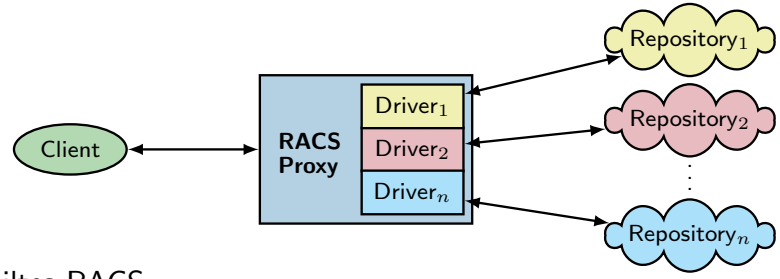
Schnittstelle

- Datenmodell
  - Anlehnung an das Datenmodell von Amazon S3
  - Verwaltung von Schlüssel-Wert-Paaren
  - Datenstrukturen
    - Verzeichnisse: *Buckets*
    - Binärdateien: *Objekte*
- Schnittstelle
  - Ziel: Generische, vom einzelnen Anbieter unabhängige Schnittstelle
  - Verfügbare Operationen

Operation	Beschreibung
`create()`	Anlegen eines Bucket
`put()`	Hinzufügen eines Objekts zu einem Bucket
`get()`	Auslesen eines Objekts
`delete()`	Löschen eines Objekts bzw. Bucket
`list()`	Auslesen von Metadaten eines Bucket

Architektur

- Basisarchitektur
  - Client-Anwendung [z. B. unmodifizierter Amazon-S3-Client]
  - RACS-Proxy
    - Übersetzung von Client-Aufrufen in Anfragen an verschiedene Clouds
    - Spezifischer Adapter für jeden Cloud-Speicher-Anbieter
  - Repositories: Datenspeicher bei unterschiedlichen Cloud-Anbietern



- Verteiltes RACS
  - Erweiterung der Basisarchitektur um weitere RACS-Proxies
  - Koordinierung zwischen RACS-Proxies mittels ZooKeeper

Funktionsweise

- Bearbeitung von Anfragen
  - Schreibanfragen
    - Berechnung von n Objektfragmenten mittels Erasure-Codes
    - Verteilung der Objektfragmente auf n Cloud-Speicher-Anbieter
    - Vollständige Replikation der Metadaten auf alle n Repositories
  - `get()`-Anfragen
    - Holen von m Objektfragmenten aus verschiedenen Repositories
    - Rekonstruktion des angeforderten Objekts
  - `list()`-Anfragen
    - Auslesen der Metadaten aus einem beliebigen Repository
    - Vollständige Replikation von Metadaten $\rightarrow$ einzelne Operation reicht aus
- Optimierte Auswahl von Repositories mittels *Policy Hints*
  - Vorgaben, welche Repositories (z. B. bei Leseanfragen) zu bevorzugen sind
  - Beispiele für Kriterien
    - Kosten für Datentransfer
    - Geografisch bedingte Latenzen

Zusammenfassung

- „Vendor Lock-In“-Problem
  - Cloud-Anbieter-Wechsel sind in der Regel sehr aufwendig
  - Technische und finanzielle Hürden bei Wechsel des Anbieters
- Multi-Cloud-Architekturen
  - Hybride Architektur
  - Broker-Architektur
  - Aggregierte Architektur
  - Mehrschichtarchitektur
- Deltacloud
  - Einheitliche Schnittstelle für Client-Anwendungen
  - Cloud-spezifische Treiber
- Redundant Array of Cloud Storage (RACS)
  - Fokus auf Anbieterwechsel aus wirtschaftlichen Gründen
  - Proxy-basierter Ansatz
  - Redundante Speicherung von Daten mittels Erasure-Codes