

Middleware – Cloud Computing

Multi-Cloud Computing

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

Multi-Cloud Computing

Motivation

Redundant Array of Cloud Storage (RACS)

- 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 Gegebenheiten 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
 - Heterogene Schnittstellen
 - Anbieterspezifische 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

Motivation

Redundant Array of Cloud Storage (RACS)

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)**
 - Anwendungsszenario
 - Fokus auf Anbieterwechsel aus wirtschaftlichen Gründen
 - Wechsel kündigt sich vergleichsweise lange im Voraus an
 - Einbindung mehrerer Anbieter technisch machbar
 - Vorbild: Redundant Array of Independent Disks (RAID)
 - Redundante Speicherung von Daten mittels **Erasure-Codes**
- Literatur
 -  Hussam Abu-Libdeh, Lonnie Princehouse, Hakim Weatherspoon
RACS: A case for cloud storage diversity
Proceedings of the 1st Symposium on Cloud Computing (SoCC '10), S. 229–240, 2010.

■ 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 $x = \frac{n}{m}$ im Vergleich zur nicht-redundanten Speicherung
- Beispiel: Verteilung auf 7 Anbieter, Tolerierung eines Weg- bzw. Ausfalls
 - $m = 6, n = 7 \Rightarrow x \approx 1.17$
 - Vergleich: Bei naivem Ansatz $x = 7$ (7 Anbieter) bzw. $x = 2$ (Tolerierung eines Ausfalls)

■ Datenmodell

- Anlehnung an das **Datenmodell von Amazon S3**
- Verwaltung von Schlüssel-Wert-Paaren
- Datenstrukturen
 - Verzeichnisse: *Buckets*
 - Binärdateien: *Objekte*

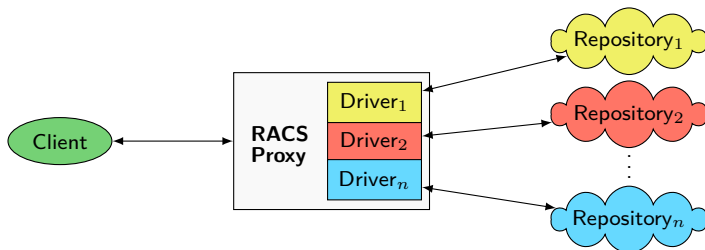
■ Schnittstelle

- 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

■ 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

■ **Bearbeitung von Anfragen**

- `put()`-Anfragen
 - 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 → 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