

Aufbau einer Datenspeicher-Cloud

Motivation

Windows Azure Storage



- Weltumspannendes System zur Speicherung von Daten
 - Heterogenes Nutzungsverhalten
 - Eigene Dienste des Cloud-Betreibers vs. Anwendungen unabhängiger Nutzer
 - Nutzung als Zwischenspeicher vs. Langzeitspeicherung von Daten
 - Verwaltung strukturierter vs. unstrukturierter Daten
 - Ort der Datenspeicherung
 - Global: Latenzüberlegungen, rechtliche Bestimmungen,...
 - Lokal: Art der Anbindung an die Rechen-Cloud desselben Anbieters
 - Großes Spektrum an möglichen Fehlersituationen
 - Defekte einzelner Rechnerkomponenten (z. B. Festplatten)
 - ...
 - Ausfall ganzer Datenzentren
- Herausforderungen
 - Wie feingranular bestimmt ein Nutzer den Speicherort seiner Daten?
 - Wie tiefgreifend sollen die Maßnahmen zum Schutz vor Datenverlust sein?



Windows Azure Storage

- Anforderungen
 - Starke Konsistenz
 - Globaler Namensraum
 - Kein Datenverlust bei Katastrophen
 - Niedrige Kosten
- Windows Azure Storage
 - Einheitliches Speichersystem für unterschiedliche Nutzdaten
 - Trennung des Datenspeichers vom Rest der Cloud
 - Rückgriff auf das Domain Name System (DNS)
 - Georeplikation über mehrere Datenzentren

Literatur



Brad Calder, Ju Wang, Aaron Ogus, Niranjan Nilakantan et al.
Windows Azure Storage: A highly available cloud storage service with strong consistency
Proceedings of the 23rd Symposium on Operating Systems Principles (SOSP '11), S. 143–157, 2011.



Adressierung von Datenobjekten

- Verfügbare Datenobjekte
 - *Blobs* [Binary large objects]
 - Tabellen
 - Warteschlangen
- Typischer Einsatz von Objekten
 - Eingabedaten: Blobs
 - Zwischenergebnisse und Ausgabedaten: Blobs oder Tabellen
 - Koordinierung: Warteschlangen
- Globaler partitionierter Namensraum

[Protokoll]://[Konto].[Dienst].core.windows.net/[Partition]/[Objekt]

 - Protokoll: http bzw. https
 - Kontoname des Nutzers (→ Speicherort) als Teil des DNS-Host-Namens
 - Dienst: blob, table oder queue
 - Identifikation eines Objekts mittels Partitions- und Objektname

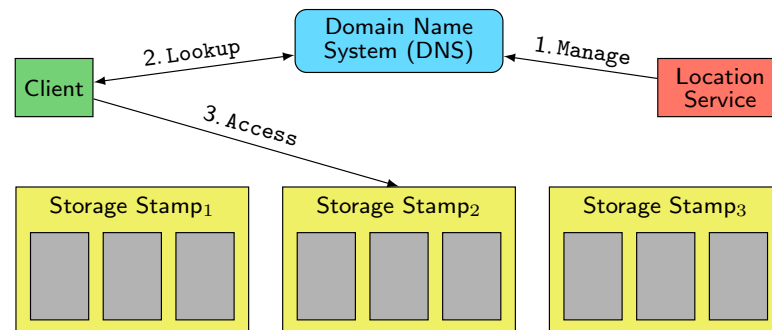


Storage-Stamp

- Gruppe aus mehreren Racks
- Racks besitzen eigene Netzwerk- und Stromanbindungen → *Fehlerdomänen*
- Stamp von außen über eine eigene IP-Adresse erreichbar

Ortsdienst

- Zuordnung von Nutzerkonten zu Stamps
- Stamp-Auswahl für neue Konten
- Aktualisierung der Stamp-Adressen im DNS



Front-End-Layer

- Authentifizierung eintreffender Anfragen
- Weiterleitung von Anfragen an den Partition-Layer

Partition-Layer

- Verwaltung von Blobs, Tabellen und Warteschlangen
 - Zusammenfassung kleiner Objekte
 - Aufteilung großer Objekte in Partitionen
- Verwaltung von Partitionen
 - Einteilung und Zuordnung zu Servern
 - Lastverteilung zwischen Servern
- Replikation über mehrere Stamps

Stream-Layer

- Direkter Zugriff auf Festplatten
- Bereitstellung von Datenströmen (*Streams*)
- Stamp-interne Replikation

Replikation

Replikation innerhalb eines Stamp (*Intra-Stamp Replication*)

- Aufgabe des Stream-Layer
- Synchrone Replikation während des Schreibvorgangs
 - Speicherung der Replikate in unterschiedlichen Fehlerdomänen
 - Replikation auf Binärdaten-Ebene
 - Typischer Replikationsfaktor: 3
- Im Fehlerfall: Rekonfigurierung der Replikatgruppe

Replikation zwischen Stamps (*Inter-Stamp Replication*)

- Aufgabenverteilung
 - Ortsdienst: Nutzerkonto-spezifische Konfiguration
 - Partition-Layer: Durchführung
- Asynchrone Replikation im Hintergrund [Vergleiche: Einsatzszenario von Google's B4.]
 - Replikation auf Objektebene
 - Durchschnittlich ca. 30s nach dem Schreibvorgang
 - Typischer Replikationsfaktor: 2
- Im Fehlerfall: Failover durch Anpassung des DNS-Eintrags eines Kontos

Stream-Layer

Interne Datenstrukturen

Block

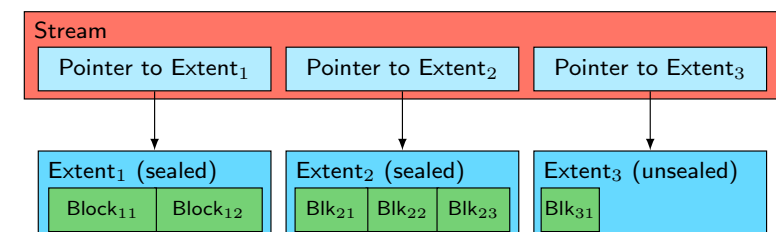
- Kleinste Dateneinheit für Lese- und Schreibaufufe (variable Größe)
- Periodische Überprüfung der Datenintegrität mittels Checksummen

Extent

- NTFS-Datei mit aufeinander folgenden Blöcken
- Zustände
 - Unversiegelt (*unsealed*): **Anhängen** weiterer Blöcke möglich
 - Versiegelt (*sealed*): Nur noch lesender Zugriff erlaubt

Stream

- Liste von Referenzen auf Extents
- Nur der letzte Extent eines Stream ist unversiegelt

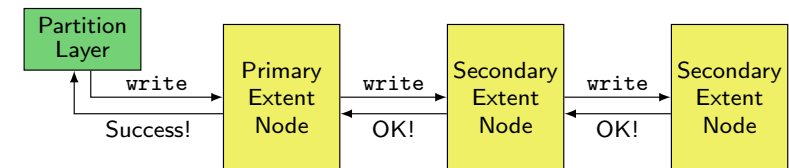


- Extent-Nodes
 - Datenspeicherknoten
 - Aufgaben
 - Speicherung von Extents
 - Abbildung von Extent-Offsets zu Blöcken
 - Mehrere Festplatten pro Rechner
- Stream-Manager
 - Verwaltungsknoten
 - Aufgaben
 - Erzeugung von Extents und Zuordnung zu Extent-Nodes
 - Überwachung der Extent-Nodes
 - Extent-Replikation zur Kompensation nach Hardware-Ausfällen
 - Garbage-Collection für nicht mehr referenzierte Extents
 - Verwaltung von Stream- und Extent-Informationen im Hauptspeicher
 - Replikation des Stream-Manager-Zustands

[Vergleiche: Aufgabenverteilung zwischen Komponenten im Google File System]



- Anlegen eines neuen Extent
 - Partition-Layer weist Stream-Manager an, einen neuen Extent zu erstellen
 - Stream-Manager wählt drei Extent-Nodes (einen *Primary*- und zwei *Secondary*-Knoten) aus verschiedenen Fehlerdomänen aus
 - Hinzufügen eines Blocks zu einem Extent [Vergleiche: Schreiben im Google File System]
 - Partition-Layer sendet Block an Primary
 - Primary zuständig für Koordinierung des Schreibaufrufs
 - Auswahl des Offset im Extent
 - Weiterleitung der Anfrage an die Secondaries
 - Primary sendet Erfolgsbestätigung an Partition-Layer
- Schreiben eines Blocks erfolgt ohne Einbeziehung des Stream-Managers



- Fehlersituationen (Beispiele)
 - Fehlermeldung, dass ein Extent-Node nicht erreichbar war
 - Fehlende Erfolgsbestätigung innerhalb einer vordefinierten Zeitspanne
- Partition-Layer kontaktiert Stream-Manager
- Ausnahmebedingtes Versiegeln des aktuellen Extent
 - Stream-Manager befragt Extent-Nodes nach aktuellem Extent-Offset
 - Versiegelung des Extent am kleinsten genannten Offset
- Anlegen eines (Ersatz-)Extent
 - Auswahl einer neuen Gruppe von Extent-Nodes
 - Wiederholung der Anhängoperation
- Anmerkungen
 - Alle als „erfolgreich hinzugefügt“ bestätigten Daten bleiben erhalten
 - Ein einmal geschriebener Block wird eventuell mehrmals gespeichert
- Partition-Layer muss mit solchen Konsistenzgarantien umgehen können



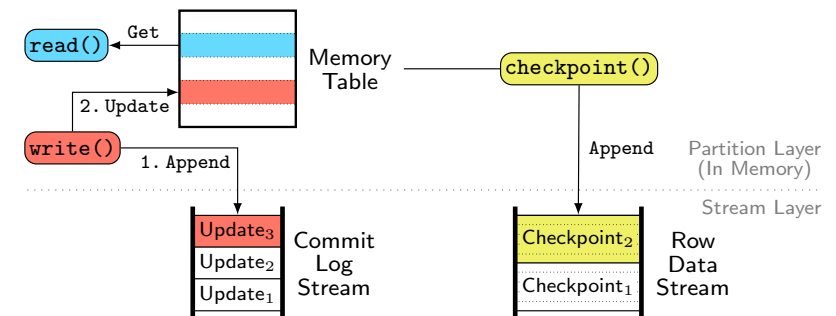
- Optimierung von Schreibzugriffen
 - Problem
 - Intra-Stamp-Replikation erfolgt synchron → direkter Einfluss auf Antwortzeit
 - Primary muss auf Bestätigungen von Secondaries warten
 - Bestätigung kann erst erfolgen, wenn der Block persistent gesichert wurde
 - Instabile Antwortzeiten in Überlastsituationen („hiccups“)
 - Lösung
 - Einsatz einer zusätzlichen Festplatte (*Journal-Drive*)
 - Doppelte Ausführung jeder Schreiboperation: *Journal-Drive* + *Daten-Disk*
 - Senden der Bestätigung, sobald einer der beiden Aufrufe erfolgreich war
- Lastbalancierung für Leseanfragen
 - Festlegung einer zeitlichen Schranke für die Bearbeitung einer Anfrage
 - Senden der Anfrage an einen für den Block zuständigen Extent-Node
 - Extent-Node schätzt ab, ob sich die zeitliche Schranke einhalten lässt
 - Falls ja: Bearbeitung der Anfrage
 - Falls nein: Sofortige Ablehnung der Anfrage
 - Bei Ablehnung: Neuer Versuch bei anderem Extent-Node



- Zentrale Datenstruktur: Objekttabelle [Vergleiche: Google's Bigtable]
 - Speicherung sehr großer Datenmengen [→ Petabytes]
 - Aufteilung in disjunkte *Range-Partitions*
 - Beispiele
 - Blob-Table: Tabelle mit allen Blobs eines Stamp
 - Partition-Map-Table: Zuordnung von Range-Partitions zu Objekttabellen
- Komponenten
 - Lock-Service
 - Vergleiche: Koordinierungsdienste [Siehe spätere Vorlesung.]
 - Vergabe von Leases für Range-Partitions an Partition-Server
 - Partition-Server
 - Verwaltung der ihm zugeteilten Range-Partitions
 - Persistente Speicherung von Daten mittels Stream-Layer
 - Partition-Manager
 - Zuweisung von Range-Partitions zu Partition-Servern
 - Mehrere Instanzen pro Stamp: Auswahl eines Anführers per Lock-Service



- Kombination aus flüchtigen und persistenten Datenstrukturen
 - Memory-Table für effizienten Lesezugriff
 - Commit-Log-Strom zum Schutz vor Datenverlust



- Erstellen von Sicherungspunkten
 - Auslöser: Commit-Log erreicht eine bestimmte Größe
 - Erzeugen eines Sicherungspunkts aus dem Inhalt der Memory-Table
 - Aufräumen des Commit-Logs

