

Evaluierung und Entwicklung eines Verteilten Speicherkonzeptes als Grundlage für eine Filehosting und Collaboration Plattform

Wachter Johannes

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Projektbeschreibung	6
1.2	Inspiration	7
1.3	Anforderungen	7
2	Stand der Technik	8
2.1	Verteilte Systeme	8
2.2	Dropbox	9
2.3	ownCloud	11
2.4	Diaspora	13
2.5	Zusammenfassung	13

3	Evaluation bestehender Technologien oder Produkte	14
3.1	Cloud Computing	14
3.1.1	Amazon S3	14
3.1.2	Eucalyptus	14
3.1.3	Heroku	14
3.1.4	Docker	14
3.1.5	Evaluation	14
3.2	Speicherverwaltung	14
3.2.1	Datenhaltung in Cloud-Infrastrukturen	15
3.2.2	Amazon Simple Storage Service (S3)	16
3.2.3	Verteilte Dateisysteme	20
3.2.4	Datenbank gestützte Dateiverwaltungen	30
3.2.5	Performance	32
3.2.6	Evaluation	32
3.3	Zusammenfassung	33
4	Konzept für Symcloud	34
4.1	Überblick	34
4.1.1	PHP Stream & Rest API	35
4.1.2	StorageController	35
4.1.3	SecurityController	35
4.1.4	Metadaten Storage	36

4.1.5	FileStorage	36
4.2	Zusammenfassung	37
5	Datenmodel	39
5.1	Exkurs: GIT	39
5.1.1	Objekt Typen	41
5.1.2	Anforderungen	42
5.1.3	Zusammenfassung	44
5.2	Details (TODO Bessere Überschrift)	44
6	Implementierung	45
6.1	OAuth2	45
6.1.1	Begriffe	46
6.1.2	Protokoll Ablauf	47
6.1.3	Anwendung	48
6.2	Synchronisierungsprogramm: Jibe	48
6.2.1	Architektur	50
6.2.2	Kommunikation	51
6.2.3	Abläufe	52
6.2.4	Anwendung	55
7	Ergebnisse	56

8 Ausblick	56
8.1 Konfliktbehandlung	56
Anhang	56
Amazon S3 System-spezifische Metadaten	56
Installation	57
Lokal	58
Verteilt	58
Literaturverzeichnis	58

Abbildungsverzeichnis

1 Blockdiagramm der Dropbox Services (“Wie Funktioniert Der Dropbox-Service” 2015)	10
2 ownCloud Enterprise Architektur Übersicht (ownCloud 2015) . .	12
3 Bereitstellungsszenario von ownCloud (ownCloud 2015)	13
4 Versionierungsschema von Amazon S3 (“Using Versioning” 2015)	18
5 Upload Analyse zwischen EC2 und S3 (“Amazon S3 and EC2 Performance Report – How Fast Is S3” 2009)	21
6 XtreamFS Architektur (“XtreamFS - Architecture, Internals and Developer’s Documentation”)	25
7 Primary-Backup-Protokoll: Entferntes-Schreiben(Tanenbaum and Steen 2003, S. 385)	28

8	Primary-Backup-Protokoll: Lokales-Schreiben(Tanenbaum and Steen 2003, S. 387)	29
9	Architektur für “Symcloud-DistributedStorage”	35
10	Git Datenmodell [Quelle http://git-scm.com/book/it/v2/Git-Internals-Git-References]	37
11	Datenmodel für “Symcloud-DistributedStorage”	39
12	GIT-Logo	40
13	Beispiel eines Repositories (Chacon 2015)	43
14	Ablaufdiagramm des OAuth	47
15	Architektur von Jibe	50

Tabellenverzeichnis

2	Evaluierung der Zustände	53
3	Objekt Metadaten (“Object Key and Metadata” 2015)	56

1 Einleitung

Seit den Abhörskandalen durch die NSA und andere Geheimdienste ist es immer mehr Menschen wichtig, die Kontrolle über die eigenen Daten zu behalten. Aufgrund dessen erregen Projekte wie Diaspora¹, ownCloud² und ähnliche Softwarelösungen immer mehr Aufmerksamkeit. Die beiden genannten Softwarelösungen decken zwei sehr wichtige Bereiche der persönlichen Datenkontrolle ab.

¹<https://diasporafoundation.org/>

²<https://owncloud.org/>

Diaspora ist ein dezentrales soziales Netzwerk. Die Benutzer von diesem Netzwerk sind durch die verteilte Infrastruktur nicht von einem Betreiber abhängig. Es ermöglicht, seinen Freunden bzw. der Familie, eine private social-media Plattform anzubieten und diese nach seinen Wünschen zu gestalten. Das Interessante daran sind die sogenannten Pods (dezentrale Knoten), die sich beliebig untereinander vernetzen lassen. Damit baut Diaspora ein privates P2P Netzwerk auf. Pods können von jedem installiert und betrieben werden; dabei kann der Betreiber bestimmen, wer in sein Netzwerk eintreten darf und welche Server mit seinem verbunden sind. Die verbundenen Pods tauschen ohne einen zentralen Knoten, Daten aus und sind dadurch unabhängig. Dies garantiert die volle Kontrolle über seine Daten im Netzwerk (“Was Ist Dezentralisierung” 2015).

Das Projekt “ownCloud” ist eine Software, die es ermöglicht, Daten in einer privaten Cloud zu verwalten. Mittels Endgeräte-Clients können die Daten synchronisiert und über die Plattform auch geteilt werden. Insgesamt bietet die Software einen ähnlichen Funktionsumfang gängiger kommerzieller Lösungen an (“Owncloud Features” 2015). Zusätzlich bietet es eine Kollaborationsplattform, mit der zum Beispiel Dokumente über einen online Editor, von mehreren Benutzern gleichzeitig, bearbeitet werden können. Diese Technologie basiert auf der JavaScript Library WebODF³.

1.1 Projektbeschreibung

Symcloud ist eine private Cloud-Software, die es ermöglicht, über dezentrale Knoten (ähnlich wie Diaspora) Daten über die Grenzen des eigenen Servers hinweg zu teilen. Verbundene Knoten tauschen über sichere Kanäle Daten aus, die anschließend über einen Client mit dem Endgerät synchronisiert werden können.

³<http://webodf.org/>

TODO genauere Beschreibung

Die Software baut auf modernen Web-Technologien auf und verwendet als Basis das PHP-Framework Symfony2⁴. Dieses Framework ist eines der beliebtesten in der Open-Source Community. Es bietet neben der Abstraktion von HTTP-Anfragen auch einen Dependency-Injection-Container und viele weitere Komponenten wie zum Beispiel Routing und Event Dispatcher. Zusätzlich erleichtert es die Entwicklung von großen PHP-Projekten durch die Möglichkeit, den Code in Komponenten, sogenannten Bundles, zu gliedern. Diese können mit der Community geteilt werden.

Als Basis für die Plattform verwendet Symcloud das Content-Management-Framework Sulu⁵ der Vorarlberger Firma MASSIVE ART WebServices⁶ aus Dornbirn. Es bietet ein erweiterbares Admin-UI, eine Benutzerverwaltung und ein Rechtesystem. Diese Features ermöglichen Symcloud eine schnelle Entwicklung der Oberfläche und deren zugrundeliegenden Services.

1.2 Inspiration

TODO Noch einmal ownCloud - Diaspora und Ted Nelson mit dem Xanadu Projekt

1.3 Anforderungen

TODO Anforderungen an das Projekt (auch in Bezug auf xanadu)

- Sicherheit
- Datenschutz

⁴<http://symfony.com/>

⁵<http://www.sulu.io>

⁶<http://www.massiveart.com/de>

- Effizienz
- Verteilbarkeit
- Zugriffberechtigungen
- Versionierung

TODO genauere Ausformulierung

2 Stand der Technik

In diesem Kapitel werden moderne Anwendungen und ihre Architektur analysiert.

TODO bessere Einleitung (=

2.1 Verteilte Systeme

Andrew Tannenbaum definiert “verteilte Systeme” in seinem Buch folgendermaßen:

`"Ein verteiltes System ist eine Menge voneinander unabhängiger Computer, die dem Benutzer wie ein einzelnes kohärentes System erscheinen"`

Diese Definition beinhaltet zwei Aspekte. Der eine Aspekt besagt, dass die einzelnen Maschinen in einem verteilten System autonom sind. Der zweite Aspekt bezieht sich auf die Software, die die Systeme miteinander verbinden. Durch die Software glaubt der Benutzer, dass er es mit einem einzigen System zu tun hat (Tanenbaum and Steen 2003, 18).

Eines der besten Beispiele für verteilte Systeme sind Cloud-Computing Dienste. Diese Dienste bieten verschiedenste Technologien an. Sie umfassen Rechner-

leistung, Speicher, Datenbanken und Netzwerke. Der Anwender kommuniziert hierbei immer nur mit einem System, allerdings verbirgt sich hinter diesen Anfragen ein komplexes System aus vielen Hard- und Softwarekomponenten, das sehr stark auf Virtualisierung setzt.

Gerade im Bereich der verteilten Dateisysteme, bietet sich die Möglichkeit, Dateien über mehrere Server zu verteilen. Dies ermöglicht eine Verbesserung von Datensicherheit, durch Replikation über verschiedene Server und Steigerung der Effizienz, durch paralleles Lesen der Daten. Diese Dateisysteme trennen meist die Nutzdaten von ihren Metadaten und halten diese, als Daten zu den Daten, in einer effizienten Datenbank gespeichert. Um zum Beispiel Informationen zu einer Datei zu erhalten, wird die Datenbank nach den Informationen durchsucht und direkt an den Benutzer weitergeleitet. Dies ermöglicht schnellere Antwortzeiten, da nicht auf die Nutzdaten zugegriffen werden muss. Dies steigert sehr stark die Effizienz der Anfrage (Seidel 2013). Das Kapitel 3.2.3 befasst sich genauer mit verteilten Dateisystemen.

2.2 Dropbox

Dropbox-Nutzer können jederzeit von ihrem Desktop aus, über das Internet, mobile Geräte oder mit Dropbox verbundene Anwendungen auf Dateien und Ordner zugreifen.

Alle diese Clients stellen Verbindungen mit sicheren Servern her, über die sie Zugriff auf Dateien haben und Dateien für andere Nutzer freigeben können. Wenn Daten auf einem Client geändert werden, werden diese automatisch mit dem Server synchronisiert. Verknüpfte Geräte aktualisieren sich automatisch. Dadurch werden Dateien, die hinzugefügt, verändert oder gelöscht werden, auf allen Clients aktualisiert bzw. gelöscht.

Der Dropbox-Service betreibt verschiedenste Dienste, die sowohl für die Handhabung und Verarbeitung von Metadaten, als auch für die Verwaltung des Blockspeichers verantwortlich sind. (“Wie Funktioniert Der Dropbox-Service” 2015)

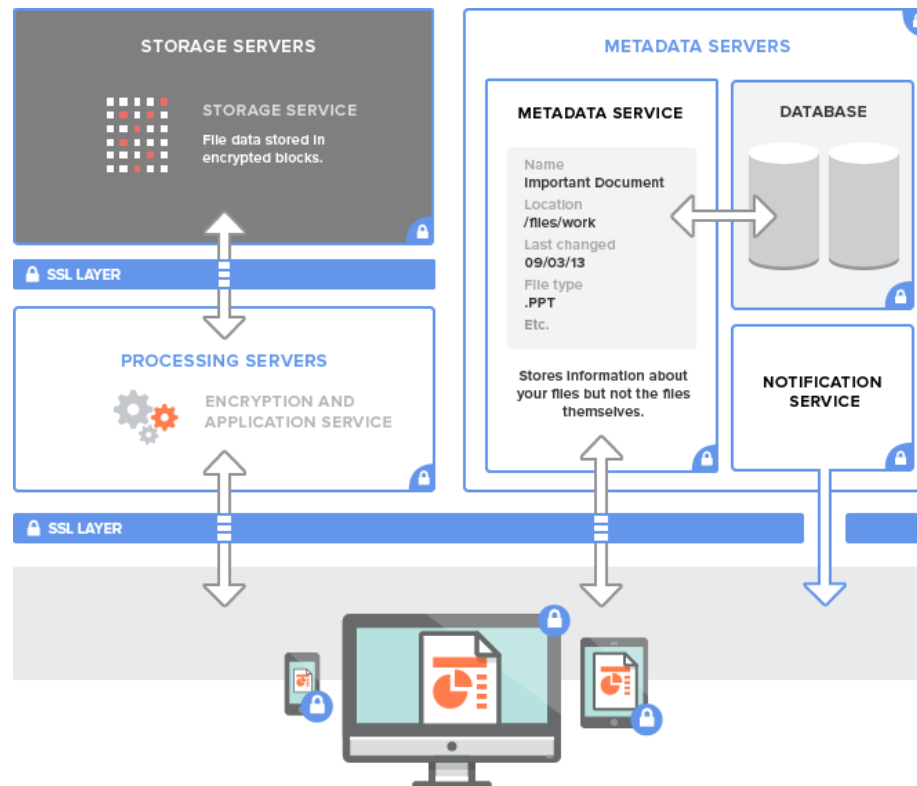


Abbildung 1: Blockdiagramm der Dropbox Services (“Wie Funktioniert Der Dropbox-Service” 2015)

In der Abbildung 1 werden die einzelnen Komponenten in einem Blockdiagramm dargestellt. Wie im Kapitel 2.1 beschrieben, trennt Dropbox intern die Dateien von ihren Metadaten. Der Metadata Service speichert die Metadaten und Informationen zu ihrem Speicherort in einer Datenbank, aber der Inhalt der Daten liegt in einem separaten Storage Service. Dieser Service verteilt die Daten wie ein “Load Balancer” über viele Server.

Der Storage Service ist wiederum von außen durch einen Application Service abgesichert. Die Authentifizierung erfolgt über das OAuth2 Protokoll (“Core API Dokumentation” 2015). Diese Authentifizierung wird für alle Services verwendet, auch für den Metadata Service, Processing-Servers und den Notification Service.

Der Processing- oder Application-Block dient als Zugriffspunkt zu den Daten. Eine Applikation, die auf Daten zugreifen möchte, muss sich an diesen Servern anmelden und bekommt dann Zugriff auf die angefragten Daten. Dies ermöglicht auch Dritt-Hersteller Anwendungen zu entwickeln, die mit Daten aus der Dropbox arbeiten. Für dieses Zweck gibt es im Authentifizierungsprotokoll OAuth2 sogenannte Scopes (siehe Kapitel 6.1). Es ermöglicht Anwendungen den Zugriff Teilbereiche der API zu autorisieren. Eine weitere Aufgabe, die diese Schicht erledigt, ist die Verschlüsselung der Anwendungsdaten (“Wie Funktioniert Der Dropbox-Service” 2015).

2.3 ownCloud

Nach den neuesten Entwicklungen arbeitet ownCloud an einem ähnlichen Feature wie Symcloud. Unter dem Namen “Remote shares” wurde in der Version 7 eine Erweiterung in den Core übernommen, mit dem es möglich sein soll, sogenannte “Shares” mittels einem Link auch in einer anderen Installation einzubinden. Dies ermöglicht es, Dateien auch über die Grenzen des eigenen Servers hinweg zu teilen. (“Server2Server - Sharing” 2015)

Die kostenpflichtige Variante von ownCloud geht hier noch einen Schritt weiter. In Abbildung 2 ist abgebildet, wie ownCloud als eine Art Verbindungsschicht zwischen verschiedenen lokalen- und Cloud-Speichersystemen dienen soll. (ownCloud 2015, 1)

Um die Integration in ein Unternehmen zu erleichtern, bietet es verschiedenste

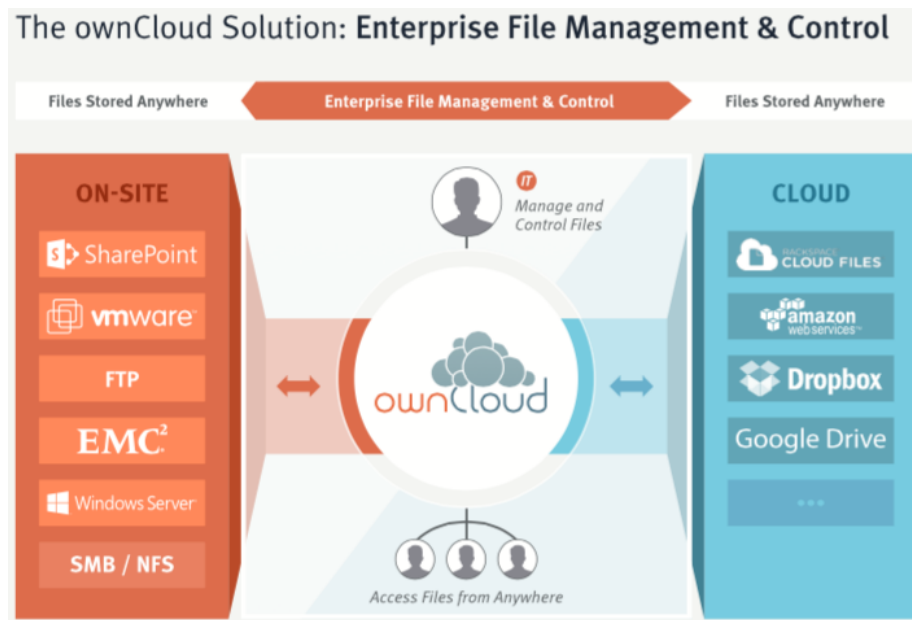


Abbildung 2: ownCloud Enterprise Architektur Übersicht (ownCloud 2015)

Services an. Unter anderem ist es möglich, Benutzerdaten über LDAP oder ActiveDirectory zu verwalten und damit ein doppeltes Verwalten der Benutzer zu vermeiden. (ownCloud 2015, 2)

Für einen produktiven Einsatz wird eine skalierbare Architektur, wie in Abbildung 3, vorgeschlagen. An erster Stelle steht ein Load-Balancer, der die Last der Anfragen an mindestens zwei Webserver verteilt. Diese Webserver sind mit einem MySQL-Cluster verbunden, in dem die User-Daten, Anwendungsdaten und Metadaten der Dateien gespeichert sind. Dieser Cluster besteht wiederum aus mindestens zwei redundanten Datenbankservern. Dies ermöglicht auch bei stark frequentierten Installationen eine horizontale Skalierbarkeit. Zusätzlich sind die Webserver mit dem File-Storage verbunden. Auch hier ist es möglich, diesen redundant bzw. skalierbar aufzubauen, um die Effizienz und Sicherheit zu erweitern. (ownCloud 2015, 3-4)

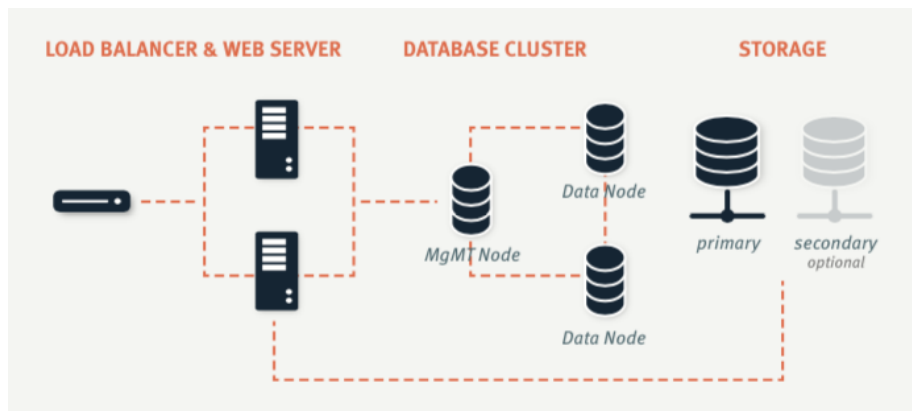


Abbildung 3: Bereitstellungsszenario von ownCloud (ownCloud 2015)

2.4 Diaspora

TODO kaum Infos gefunden, weitere suche notwendig

2.5 Zusammenfassung

TODO Zusammenfassung state of the art Kapitel

3 Evaluation bestehender Technologien oder Produkte

3.1 Cloud Computing

3.1.1 Amazon S3

3.1.2 Eucalyptus

3.1.3 Heroku

3.1.4 Docker

3.1.5 Evaluation

3.2 Speicherverwaltung

Ein wichtiger Aspekt von Cloud-Anwendungen ist die Speicherverwaltung. Es bieten sich verschiedenste Möglichkeiten der Datenhaltung in der Cloud an. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Evaluierung von verschiedenen Diensten bzw. Lösungen, mit denen Speicher verwaltet und möglichst effizient zur Verfügung gestellt werden kann.

Aufgrund der Anforderungen, siehe Kapitel 1.3 des Projektes werden folgende Anforderungen an die Speicherlösung gestellt.

Ausfallsicherheit Die Speicherlösung ist das Fundament einer jeder Cloud-Anwendung. Ein Ausfall dieser Schicht bedeutet oft einen Ausfall der kompletten Anwendung.

Skalierbarkeit Die Datenmengen einer Cloud-Anwendung sind oft schwer abschätzbar und können sehr große Ausmaße annehmen. Daher ist eine wichtige Anforderung an eine Speicherlösung die Skalierbarkeit.

Datenschutz Der Datenschutz ist ein wichtiger Punkt beim Betreiben der eigenen Cloud-Anwendung. Meist gibt es eine kommerzielle Konkurrenz, die mit günstigen Preisen die Anwender anlockt, um ihre Daten zu verwerten. Die Möglichkeit, Daten privat auf dem eigenen Server zu speichern, sollte somit gegeben sein. Damit Systemadministratoren nicht auf einen Provider angewiesen sind.

Flexibilität Um Daten flexibel speichern zu können, sollte es möglich sein, Verlinkungen und Metadaten direkt in der Speicherlösung abzulegen. Dies erleichtert die Implementierung der eigentlichen Anwendung.

Versionierung Eine optionale Eigenschaft ist die integrierte Versionierung der Daten. Dies würde eine Vereinfachung der Anwendungslogik ermöglichen, da Versionen nicht in einem separaten Speicher abgelegt werden müssen.

Performance ist ein wichtiger Aspekt an eine Speicherverwaltung. Sie kann zwar durch Caching-Mechanismen verbessert werden, jedoch ist es ziemlich aufwändig diese Caches immer aktuell zu halten. Daher sollten diese Caches nur für “nicht veränderbare” Daten verwendet werden. Um den Aufwand zu reduzieren, der getrieben werden muss um diese aktuell zu halten.

3.2.1 Datenhaltung in Cloud-Infrastrukturen

Wenn man Speicherstrukturen in der Cloud genauer betrachtet, gibt es grundsätzlich drei Möglichkeiten.

Objekt-Speicherdienste, wie zum Beispiel Amazon S3⁷, ermöglichen das Speichern von sogenannten Objekten (Dateien, Ordner und Metadaten). Sie sind optimiert für den parallelen Zugriff von mehreren Instanzen einer Anwendung, die auf verschiedenen Hosts installiert sind. Erreicht wird dies durch eine Webbasierte HTTP-Schnittstellen, wie bei Amazon S3 (“Introduction to Amazon S3” 2015).

Verteilte Dateisysteme ,fungieren als einfache Laufwerke und abstrahieren dadurch den komplexen Ablauf der darunter liegenden Services. Der Zugriff auf diese Dateisysteme erfolgt meist über system-calls wie zum Beispiel `fopen` oder `fclose`. Dies ergibt sich aus der Transparenz Anforderung (Coulouris, Dollimore, and Kindberg 2003, S. 369), die im Kapitel 3.2.3.1 beschrieben wird.

Datenbank gestützte Dateisysteme, wie zum Beispiel GridFS⁸ von MondoDB, erweitern Datenbanken, um große Dateien effizient und sicher abzuspeichern. (“GridFS” 2015)

3.2.2 Amazon Simple Storage Service (S3)

Amazon Simple Storage Service bietet Entwicklern einen sicheren, beständigen und sehr gut skalierbaren Objektspeicher. Es dient der einfachen und sicheren Speicherung großer Datenmengen (“Amazon S3” 2015). Daten werden in sogenannte Buckets gegliedert. Jeder Bucket kann unbegrenzt Objekte enthalten. Die Gesamtgröße der Objekte ist jedoch auf 5TB beschränkt. Sie können nicht verschachtelt werden, allerdings können sie Ordner enthalten, um die Objekte zu gliedern.

⁷<http://aws.amazon.com/de/s3/>

⁸<http://docs.mongodb.org/manual/core/gridfs/>

Die Kernfunktionalität des Services besteht darin, Daten in sogenannten Objekten zu speichern. Diese Objekte können bis zu 5GB groß werden. Zusätzlich wird zu jedem Objekt ca. 2KB Metadaten abgelegt. Bei der Erstellung eines Objektes werden automatisch vom System Metadaten erstellt. Einige dieser Metadaten können vom Benutzer überschrieben werden, wie zum Beispiel `x-amz-storage-class`, andere werden vom System automatisch gesetzt, wie zum Beispiel `Content-Length`. Diese systemstetspezifischen Metadaten werden beim speichern auch automatisch aktualisiert (“Object Key and Metadata” 2015). Für eine vollständige List dieser Metadaten siehe Anhang 8.1.

Zusätzlich zu diesen systemdefinierten Metadaten ist es möglich, benutzerdefinierte Metadaten zu speichern. Das Format dieser Metadaten entspricht einer Key-Value Liste. Diese Liste ist auf 2KB limitiert.

3.2.2.1 Versionierung Die Speicherlösung bietet eine Versionierung der Objekte an. Diese kann über eine Rest-API, mit folgendem Inhalt, in jedem Bucket aktiviert werden.

```
<VersioningConfiguration
  xmlns="http://s3.amazonaws.com/doc/2006-03-01/">
  <Status>Enabled</Status>
</VersioningConfiguration>
```

Ist die Versionierung aktiviert, gilt diese für alle Objekte, die dieser enthält. Wird anschließend ein Objekt überschrieben, resultiert dies in einer neuen Version, dabei wird die Version-ID im Metadaten Feld `x-amz-version-id` auf einen neuen Wert gesetzt (“Using Versioning” 2015). Dies veranschaulicht die Abbildung 4.



Abbildung 4: Versionierungsschema von Amazon S3 (“Using Versioning” 2015)

3.2.2.2 Skalierbarkeit Die Skalierbarkeit ist aufgrund der von Amazon verwalteten Umgebung sehr einfach. Es wird soviel Speicherplatz zur Verfügung gestellt, wie benötigt wird. Der Umstand, dass mehr Speicherplatz benötigt wird, zeichnet sich nur auf der Rechnung des Betreibers ab.

3.2.2.3 Datenschutz Amazon ist ein US-Amerikanisches Unternehmen und ist daher an die Weisungen der Amerikanischen Geheimdienste gebunden. Aus diesem Grund wird es in den letzten Jahren oft kritisiert. Laut einem Bericht der ITWorld beteuerte Terry Wise, er ist bei Amazon zuständig für die Zusammenarbeit zwischen den Partner ist, dass jede Gerichtliche Anordnung mit dem Kunden abgesprochen wird (“Amazon Web Services: We’ll Go to Court to Fight Gov’t Requests for Data | ITworld”). Dies gilt aber vermutlich nicht für Anfragen der NSA, den diese beruhen in der Regel auf den Anti-Terror Gesetzen und verpflichten daher den Anbieter zu absolutem Stillschweigen. Um dieses Problem zu kompensieren, können Systemadministratoren sogenannte “Availability Zones” auswählen und damit steuern, wo ihre Daten gespeichert werden. Zum Beispiel werden Daten aus einem Bucket mit der Zone Irland, auch wirklich in Irland gespeichert. Zusätzlich ermöglicht Amazon die Verschlüsselung der Daten (“Cloud-Dienste Für Startups: „Automatisierung Ist Pflicht“ [Interview] | T3n”). Wer bedenken hat, seine Daten aus den Händen zu geben, kann auf verschiedene

kompatible Lösungen zurückgreifen.

3.2.2.4 Alternativen zu Amazon S3 Es gibt einige Amazon S3 kompatible Anbieter, die einen ähnlichen Dienst bieten. Diese sind allerdings meist auch US-Amerikanische Firmen und daher an die selben Gesetzen gebunden wie Amazon. Wer daher auf Nummer sicher gehen will und seine Daten bzw. Rechner-Instanzen ganz bei sich behalten will, kommt nicht um eine Installation von einer privaten Cloud-Lösungen herum.

Eucalyptus ist eine Open-Source-Infrastruktur zur Nutzung von Cloud-Computing auf einem Rechner Cluster. Der Name ist ein Akronym für “Elastic Utility Computing Architecture for Linking Your Programs To Useful Systems”. Die hohe Kompatibilität macht diese Software-Lösung zu einer optimalen Alternative zu Amazon-Web-Services. Es bietet neben Objektspeicher auch andere AWS kompatible Dienste an, wie zum Beispiel EC2 (Rechnerleistung) oder EBS (Blockspeicher) (“Open Source Private Cloud Software | AWS-Compatible | HP Helion Eucalyptus”). Dieser S3 kompatible Dienst bietet allerdings keine Versionierung.

Riak Cloud Storage ist eine Software, mit der es möglich ist, einen verteilten Objekt-Speicherdienst zu betreiben. Es implementiert die Schnittstelle von Amazon S3 und ist damit kompatibel zu der aktuellen Version (Basho Technologies 2015). Es unterstützt die meisten Funktionalitäten, die Amazon bietet. Die Installation von Riak-CS ist im Gegensatz zu Eucalyptus sehr einfach und kann daher auf nahezu jedem System durchgeführt werden.

Beide vorgestellten Dienste bieten momentan keine Möglichkeit, Objekte zu versionieren. Außerdem ist das Vergeben von Berechtigungen nicht so einfach

möglich wie bei Amazon S3. Diese Aufgabe muss von der Applikation, die diese Dienste verwendet, übernommen werden.

3.2.2.5 Performance HostedFTP veröffentlichte im Jahre 2009 in einem Performance Report über ihre Erfahrungen mit der Performance zwischen EC2 (Rechner Instanzen) und S3 (“Amazon S3 and EC2 Performance Report – How Fast Is S3” 2009). Über ein Performance Modell wurde festgestellt, dass die Zeit für den Download einer Datei in zwei Bereiche aufgeteilt werden kann.

Feste Transaktionszeit ist ein fixer Zeitabschnitt, der für die Bereitstellung oder Erstellung der Datei benötigt wird. Beeinflusst wird diese Zeit kaum, allerdings kann es aufgrund schwankender Auslastung zu Verzögerungen kommen.

Downloadzeit ist linear abhängig zu der Dateigröße und kann aufgrund der Bandbreite schwanken.

Ausgehend von diesen Überlegungen kann davon ausgegangen werden, dass die Upload- bzw. Downloadzeit einen linearen Verlauf über die Dateigröße aufweist. Diese These wird von den Daten unterstützt. Aus dem Diagramm (Abbildung 5) kann die feste Transaktionszeit von ca. 140ms abgelesen werden.

Für den Download von Dateien entsteht laut den Daten aus dem Report keine fixe Transaktionszeit. Die Zeit für den Download ist also nur von der Größe der Datei und der Bandbreite abhängig.

3.2.3 Verteilte Dateisysteme

Verteilte Dateisysteme unterstützen die gemeinsame Nutzung von Informationen in Form von Dateien. Sie bieten Zugriff auf Dateien, die auf einem entfernten

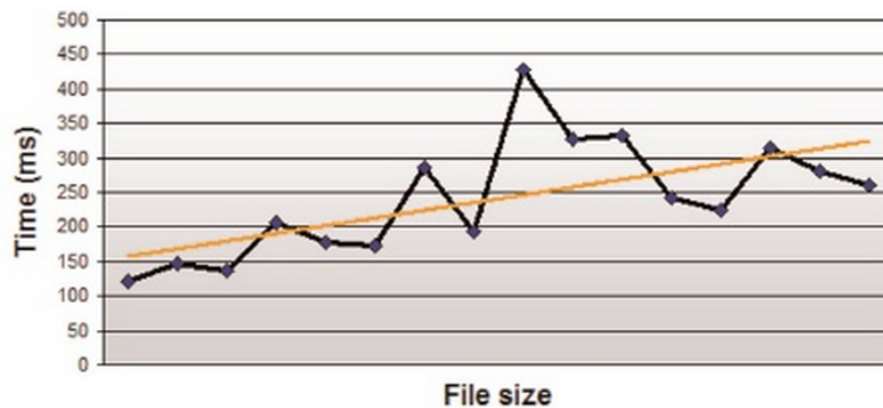


Abbildung 5: Upload Analyse zwischen EC2 und S3 (“Amazon S3 and EC2 Performance Report – How Fast Is S3” 2009)

Server abgelegt sind, wobei eine ähnliche Leistung und Zuverlässigkeit erzielt wird, wie für lokal gespeicherte Daten. Wohldurchdachte verteilte Dateisysteme erzielen oft bessere Ergebnisse in Leistung und Zuverlässigkeit als lokale Systeme. Die entfernten Dateien werden genauso verwendet wie lokale Dateien, da verteilte Dateisysteme die Schnittstelle des Betriebssystems emulieren. Dadurch können die Vorteile von verteilten Systemen in einem Programm genutzt werden, ohne dieses anzupassen. Die Schreibzugriffe bzw. Lesezugriffe erfolgen über ganz normale **system-calls** (Coulouris, Dollimore, and Kindberg 2003 S. 363ff.).

Dies ist auch ein großer Vorteil zu Speicherdiensten wie Amazon S3. Da die Schnittstelle zu den einzelnen Systemen abstrahiert werden, muss die Software nicht angepasst werden, wenn das Dateisystem gewechselt wird.

3.2.3.1 Anforderungen TODO Anforderungen an ein verteiltes Dateisystem?

Unter anderem:

- Transparenz

- Nebenläufigkeit
- Replikation
- Fehlertoleranz
- Konsistenz
- Sicherheit
- Effizienz

3.2.3.2 NFS Das verteilte Dateisystem Network File System wurde von Sun Microsystems entwickelt. Das grundlegende Prinzip von NFS ist, dass jeder Dateiserver eine standardisierte Dateischnittstelle implementiert und über diese Dateien des lokalen Speichers den Benutzern zur Verfügung stellt. Das bedeutet, dass es keine Rolle spielt, welches System dahinter steht. Ursprünglich wurde es für UNIX Systeme entwickelt. Mittlerweile gibt es aber Implementierungen für verschiedenste Betriebssysteme (Tanenbaum and Steen 2003 S. 645ff.).

NFS ist also weniger ein Dateisystem als eine Menge von Protokollen, die in der Kombination mit den Clients ein verteiltes Dateisystem ergeben. Die Protokolle wurden so entwickelt, dass unterschiedliche Implementierungen einfach zusammenarbeiten können. Auf diese Weise können durch NFS eine heterogene Menge von Computern verbunden werden. Dabei ist es sowohl für den Benutzer als auch für den Server irrelevant mit welcher Art von System er verbunden ist (Tanenbaum and Steen 2003 S. 645ff.).

3.2.3.2.1 Architektur

3.2.3.2.2 Exkurs: Fehlertoleranz TODO siehe Tannenbaum S. 669ff

3.2.3.3 XtreamFS Als Alternative zu konventionellen verteilten Dateisystemen bietet XtreamFS eine unkomplizierte und moderne Variante eines verteilten Dateisystems. Es wurde speziell für die Anwendung in einem Cluster mit dem Betriebssystem XtreamOS entwickelt. Mittlerweile gibt es aber Server- und Client-Anwendungen für fast alle Linux Distributionen. Außerdem Clients für Windows und MAC.

Die Hauptmerkmale von XtreamFS sind:

Distribution Eine XtreamFS Installation enthält eine beliebige Anzahl von Servern, die auf verschiedenen Physikalischen Maschinen betrieben werden können. Diese Server, sind entweder über einen lokalen Cluster oder über das Internet miteinander verbunden. Der Client kann sich mit einem beliebigen Server verbinden und mit ihm Daten austauschen. Es Garantiert konsistente Daten, auch wenn verschiedene Clients mit verschiedenen Server kommunizieren, vorausgesetzt, alle Komponenten sind miteinander verbunden und erreichbar (“XtreamFS Installation and User Guide,” Kapitel 2.3).

Replication Die drei Hauptkomponenten von XtreamFS, Directory Service, Metadata Catalog und die Object Storage Devices (siehe Kapitel 6), können repliziert redundant verwendet werden, dies führt zu einem Fehlertoleranten System. Die Replikationen zwischen diesen Systemen erfolgt mit einem Hot-Backup (siehe Kapitel 3.2.3.3.2), welche Automatisch verwendet werden, wenn ein Server ausfällt (“XtreamFS Installation and User Guide,” Kapitel 2.3).

Striping XtreamFS splittet Dateien in sogenannte “stripes” (oder “chunks”). Diese chunks werden dann auf verschiedenen Servern gespeichert und können dann parallel von mehreren Servern gelesen werden. Die gesamte

Datei kann dann mit der zusammengefassten Netzwerk- und Festplatten-Bandbreite mehrerer Server heruntergeladen werden. Die Größe und Anzahl der Server kann pro Datei bzw. pro Ordner festgelegt werden (“XtreemFS Installation and User Guide,” Kapitel 2.3).

Security Um die Sicherheit der Dateien zu gewährleisten, unterstützt XtreemFS sowohl Benutzer Authentifizierung als auch Berechtigungen. Der Netzwerkverkehr zwischen den Servern ist Verschlüsselt. Die Standard Authentifizierung basiert auf lokalen Benutzernamen und ist auf die Vertrauenswürdigkeit der Clients bzw. des Netzwerkes angewiesen. Um mehr Sicherheit zu erreichen unterstützt XtreemFS aber auch eine Authentifizierung mittels X.509 Zertifikaten⁹ (“XtreemFS Installation and User Guide,” Kapitel 2.3).

3.2.3.3.1 Architektur XtreemFS implementiert eine Objekt-Basierte Datei-Systemarchitektur, was bedeutet, dass die Dateien in Objekte mit einer bestimmten Größe aufgeteilt werden und auf verschiedenen Servern gespeichert werden. Die Metadaten werden in separaten Servern gespeichert. Diese Server organisieren die Dateien in eine Menge von sogenannten “volumes”. Jedes Volume ist ein eigener Namensraum mit einem eigenen Dateibaum. Die Metadaten speichern zusätzlich eine Liste von chunk-IDs mit den jeweiligen Servern, auf denen dieser Chunk zu finden ist und eine Richtlinie, wie diese Datei aufgeteilt und auf Server verteilt werden soll. Dadurch kann die Größe der Metadaten von Datei zu Datei unterschiedlich sein. (“XtreemFS Installation and User Guide,” Kapitel 2.4)

Eine XtreemFS Installation besteht aus drei Komponenten:

DIR - Directory Service ist das zentrale Register für alle Services. Andere Services bzw. Client verwenden ihn um zum Beispiel alle Object-Storage-

⁹<http://tools.ietf.org/html/rfc5280>

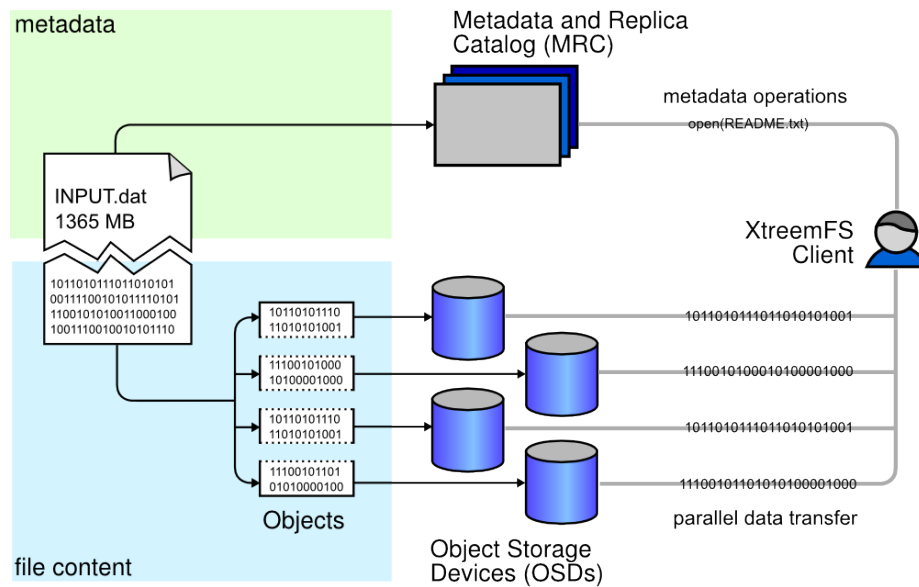


Abbildung 6: XtreamFS Architektur (“XtreamFS - Architecture, Internals and Developer’s Documentation”)

Devices zu finden. (“XtreamFS Installation and User Guide,” Kapitel 2.4)

MRC - Metadata and Replica Catalog verwaltet die Metadaten der Datei, wie zum Beispiel Dateiname, Dateigröße oder Bearbeitungsdatum. Zusätzlich Authentifiziert und Autorisiert er Benutzer den Zugriff auf die Dateien bzw. Ordner. (“XtreamFS Installation and User Guide,” Kapitel 2.4)

OSD - Object Storage Device speichert die Objekte (“strip” oder “chunks”) der Dateien. Die Clients schreiben und lesen Daten direkt von diesen Servern. (“XtreamFS Installation and User Guide,” Kapitel 2.4)

3.2.3.3.2 Exkurs: Datei Replikation Ein wichtiger Aspekt von verteilten Dateisystemen ist die Replikation von Daten. Sie steigert sowohl die Zuverlässigkeit, als auch Leistung der Lesezugriffe. Das größte Problem dabei ist allerdings

die Konsistenz der Repliken zu erhalten. Dabei muss bei jedem schreiben Zugriff ein Update aller Repliken erfolgen, ansonsten ist die Konsistenz nicht mehr gegeben. (Tanenbaum and Steen 2003, S. 333ff)

Die Hauptgründe für Replikationen von Daten sind Zuverlässigkeit und Leistung. Wenn Daten repliziert werden ist es unter Umständen möglich, weiterzuarbeiten, wenn eine Replika ausfällt. Der Benutzer lädt sich die Daten dann von einem anderen Server. Zusätzlich dazu können durch Repliken Fehlerhafte Dateien erkannt werden. Wenn eine Datei also zum Beispiel auf drei Servern gespeichert wurde und alle Schreib- bzw. Lesezugriffe auf alle drei Server ausgeführt werden, kann durch den Vergleich der Antworten, erkannt werden ob eine Datei fehlerhaft ist oder nicht. Dazu müssen nur zwei Antworten den selben Inhalt besitzen und es kann davon auszugehen sein, dass es sich um die richtige Datei handelt. (Tanenbaum and Steen 2003, S. 333ff)

Der andere wichtige Grund für Replikationen ist die Leistung des Systems. Hier gibt es zwei Aspekte, der eine bezieht sich auf die gesamte Last eines einzigen Servers und der andere auf Geographische Lage. Wenn also ein System nur aus einem Server besteht, ist dieser Server der vollen Last der Zugriffe ausgesetzt. Teilt man diese Last auf, kann die Leistung des Systems gesteigert werden. Zusätzlich können durch Repliken auch der Lesezugriff gesteigert werden indem dieser Zugriff über mehrere Server parallel erfolgt. Auch die Geographische Lage der Daten spielt bei der Leistung des Systems eine entscheidende Rolle. Wenn Daten in der Nähe des Prozesses gespeichert werden in dem sie erzeugt bzw. verwendet werden, ist sowohl der schreibende als auch der lesende Zugriff schneller umzusetzen. Diese Leistungssteigerung ist allerdings nicht linear zu den verwendeten Servern. Denn es ist einiges an Aufwand zu treiben, diese Repliken synchron zu halten und dadurch die Konsistenz zu wahren. (Tanenbaum and Steen 2003, S. 333ff)

Damit ein Verbund von Servern die Konsistenz ihrer Daten gewährleisten kann, werden Konsistenzprotokolle eingesetzt. In XtreamFS wird ein sogenanntes Primärbasiertes Protokoll eingesetzt (“XtreamFS Installation and User Guide,” Kapitel 6). In diesen Protokollen, ist jedem Datenelement “x” ein primärer Server zugeordnet, der dafür verantwortlich ist, Schreiboperationen für “x” zu koordinieren. Es gibt zwei Arten dieses Protokoll umzusetzen.

Entferntes-Schreiben

Es gibt auch hier zwei Arten zur Implementierung des Protokolls. Das eine, ist ein nicht replizierendes Protokoll, bei dem alle Schreib- und Lesezugriffe auf den Primären Server des Objektes ausgeführt werden. Und das andere, ist das sogenannte “Primary-Backup” Protokoll, verfügt über einen festen Primären Server für jedes Objekt. Dieser Server wird bei der Erstellung des Objektes festgelegt und nicht verändert. Zusätzlich wird festgelegt, auf welchen Servern Repliken für dieses Objekt angelegt werden. In XtreamFS werden diese Einstellungen “replication policy” genannt (“XtreamFS Installation and User Guide,” Kapitel 6.1.3).

Der Prozess, der eine Schreiboperation (siehe 7) auf das Objekt ausführen will, gibt sie an den Primären Server weiter. Dieser führt die Operation lokal an dem Objekt aus und gibt die Aktualisierungen an die Backup-Server weiter. Jeder dieser Server führt die Operation aus und gibt eine Bestätigung an den Primären Server weiter. Nachdem alle Backups die Aktualisierung durchgeführt haben, gibt auch der Primäre Server eine Bestätigung an den Ausführenden Server weiter. Dieser Server kann nun sicher sein, dass die Aktualisierung auf allen Servern ausgeführt wurde und damit sicher im System gespeichert wurde. Aus der Tatsache, dass dieses Protokoll blockierend ist, kann ein gravierendes Leistungsproblem entstehen. Für Programme, die lange Antwortzeiten nicht akzeptieren können, ist es eine Variante, das Protokoll nicht blockierend zu

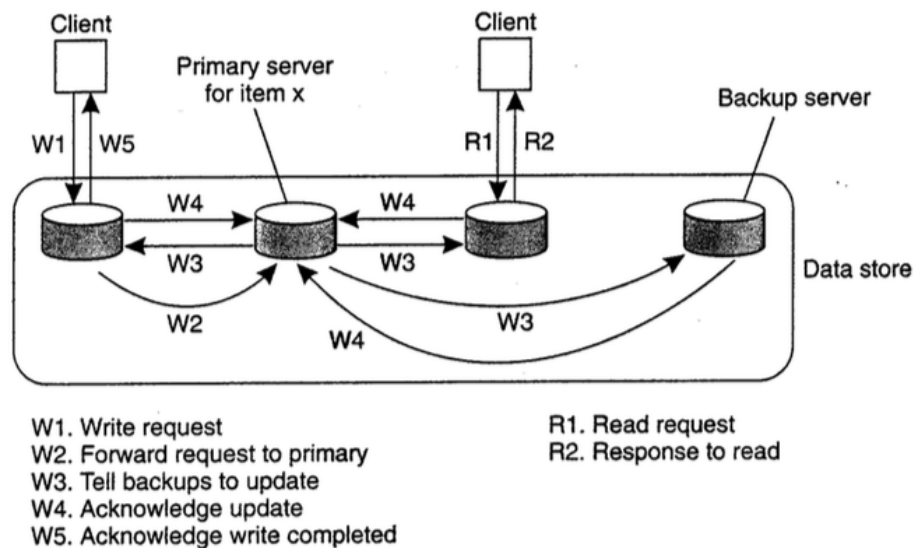


Abbildung 7: Primary-Backup-Protokoll: Entferntes-Schreiben(Tanenbaum and Steen 2003, S. 385)

implementieren. Das bedeutet, dass der Primäre Server die Bestätigung direkt nach dem lokalen ausführen der Operation zurückgibt und erst danach die Aktualisierungen an die Backups weitergibt (“Under the Hood: File Replication”). Aufgrund der Tatsache, dass alle Schreiboperationen auf einem Server ausgeführt werden, können diese einfach gesichert werden und dadurch die Konsistenz gesichert werden. Eventuelle Transaktionen oder Locks müssen nicht im Netzwerk verteilt werden (Tanenbaum and Steen 2003, S. 384ff).

Lokales-Schreiben

Auch in dieser Implementierung gibt es zwei Möglichkeiten es zu implementieren. Die eine ist ein nicht replizierendes Protokoll, bei dem vor einem Schreibzugriff das Objekt auf den Ausführenden Server verschoben wird und dadurch der Primäre Server des Objekts geändert wird. Nachdem die Schreiboperation ausgeführt wurde, bleibt das Objekt auf diesem Server solange, bis ein anderer Server Schreibend auf das Objekt zugreifen will. Die andere Möglichkeit, ist ein Primäres-

Backup Protokoll (siehe Abbildung 8), bei dem der Primäre-Server des Objektes zu dem ausführenden Server migriert wird (Tanenbaum and Steen 2003, S. 386ff).

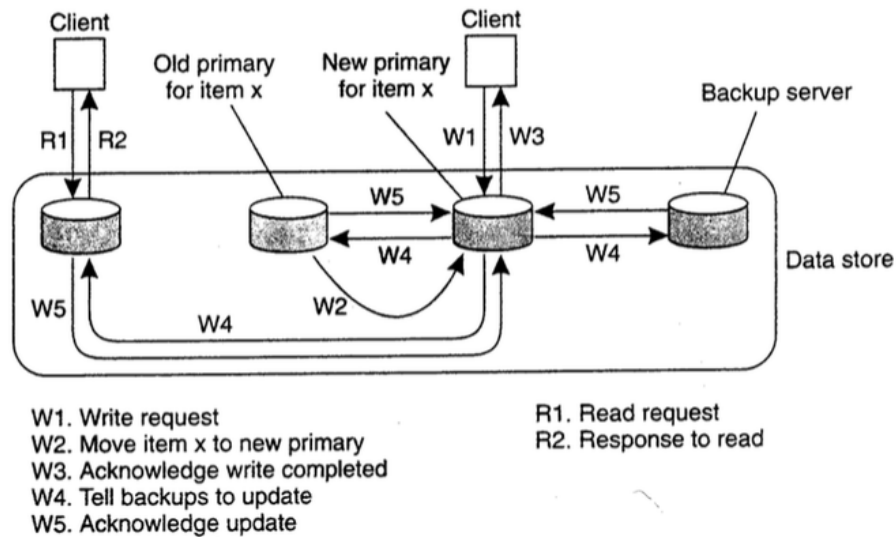


Abbildung 8: Primary-Backup-Protokoll: Lokales-Schreiben (Tanenbaum and Steen 2003, S. 387)

Dieses Protokoll ist auch für mobile Computer geeignet, die in einem Offline Modus verwendet werden können. Dazu wird es zum primären Server für die Objekte, die er vermutlich während seiner Offline-Phase bearbeiten wird. Während der Offline-Phase können nun Aktualisierungen lokal ausgeführt werden und die anderen Clients können lesend auf eine Replik zugreifen. Sie bekommen zwar keine Aktualisierungen können aber sonst ohne Einschränkungen weiterarbeiten. Nachdem die Verbindung wiederhergestellt wurde, werden die Aktualisierungen an die Backup-Server weitergegeben, sodass der Datenspeicher wieder in einen Konsistenten Zustand übergehen kann (Tanenbaum and Steen 2003, S. 386ff).

3.2.3.4 Speichergeschwindigkeit TODO überhaupt notwendig?

- <http://member.wide.ad.jp/~shima/publications/20120924-dfs-performance.pdf>

3.2.3.5 Zusammenfassung (??evtl. Evaluierung??) Im Bezug auf die Anforderungen (siehe Kapitel 1.3) bieten, die analysierten, verteilten Dateisysteme von Haus aus keine Versionierung. Es gab Versuche der Linux-Community, mit Wizbit¹⁰, ein auf GIT-basierendes Dateisystem zu entwerfen, das Versionierung mitliefern sollte (“Wizbit: A Linux Filesystem with Distributed Version Control | Ars Technica” 2008). Dieses Projekt wurde allerdings seit ende 2009 nicht mehr weiterentwickelt (“The Wizbit Open Source Project on Open Hub”). Die benötigten Zugriffsberechtigungen werden zwar auf der Systembenutzerebene durch ACL unterstützt. Jedoch müsste dann, die Anwendungen für jeden Anwendungsbenutzer einen Systembenutzer anlegen (“XtreemFS Installation and User Guide,” Kapitel 7.2). Dies wäre zwar auf einer einzelnen Installation machbar, jedoch macht es eine Verteilte Verwendung komplizierter und eine Installation aufwändiger.

3.2.4 Datenbank gestützte Dateiverwaltungen

Einige Datenbanksysteme, wie zum Beispiel MongoDB¹¹, bieten eine Schnittstelle an, um Dateien abzuspeichern. Viele dieser Systeme sind meist nur begrenzt für große Datenmengen geeignet. MongoDB und GridFS sind jedoch genau für diese Anwendungsfälle ausgelegt, daher wird diese Technologie im folgenden Kapitel genauer betrachtet.

3.2.4.1 MongoDB & GridFS MongoDB bietet von Haus aus die Möglichkeit, BSON-Dokumente in der Größe von 16MB zu speichern. Dies ermöglicht

¹⁰<https://www.openhub.net/p/wizbit>

¹¹<http://docs.mongodb.org/manual/core/gridfs/>

die Verwaltung kleinerer Dateien ohne zusätzlichen Layer. Für größere Dateien und zusätzliche Features bietet MongoDB mit GridFS eine Schnittstelle an, mit der es möglich ist, größere Dateien und ihre Metadaten zu speichern. Dazu teilt GridFS die Dateien in Chunks einer bestimmten Größe auf. Standardmäßig ist die Größe von Chunks auf 255Byte gesetzt. Die Daten werden in der Kollektion **chunks** und die Metadaten in der Kollektion **files** gespeichert.

Durch die verteilte Architektur von MongoDB werden die Daten automatisch auf allen Systemen synchronisiert. Außerdem bietet das System die Möglichkeit, über Indexes schnell zu suchen und Abfragen auf die Metadaten durchzuführen.

Beispiel:

```
$mongo = new Mongo();           // connect to database
$database = $mongo->selectDB("example"); // select mongo database

$gridFS = $database->getGridFS(); // use GridFS class for
                                   //handling files

$name = $_FILES['Filedata']['name']; // optional - capture the
                                     // name of the uploaded file

$id = $gridFS->storeUpload('Filedata', $name);
                                     // load file into MongoDB
```

Bei der Verwendung von MongoDB ist es sehr einfach, Dateien in GridFS abzulegen. Die fehlenden Funktionen wie zum Beispiel, ACL oder Versionierung, machen den Einsatz in Symcloud allerdings schwierig. Auch der starre Aufbau mit nur einem Dateibaum macht die Anpassung der Datenstruktur nahezu unmöglich. Allerdings ist das Chunking der Dateien auch hier zentraler Bestandteil, daher wäre es möglich MongoFS für einen Teil des Speicher-Konzeptes zu verwenden.

3.2.5 Performance

TODO überhaupt notwendig?

3.2.6 Evaluation

Am Ende dieses Abschnittes, werden die Vor- und Nachteile der jeweiligen Technologien zusammengefasst. Dies ist notwendig, um am Ende ein optimales Speicherkonzept für Symcloud zu entwickeln.

Speicherdienste, wie Amazon S3, sind für einfache Aufgaben bestens geeignet. Sie bieten alles an, was für ein schnelles Setup der Applikation benötigt wird. Jedoch haben gerade die Open-Source Alternativen zu S3 wesentliche Mankos, die gerade für das aktuelle Projekt unbedingt notwendig sind. Zum einen ist es bei den Alternativen die fehlenden Funktionalitäten, wie zum Beispiel ACLs oder Versionierung, zum anderen ist auch Amazon S3 wenig flexibel, um eigene Erweiterungen hinzuzufügen. Jedoch können wesentliche Vorteile bei der Art der Datenhaltung beobachtet werden. Wie zum Beispiel:

- Rest-Schnittstelle
- Versionierung
- Gruppierung durch Buckets
- Berechtigungssysteme

Diese Punkte werden im Kapitel 4 berücksichtigt werden.

Verteilte Dateisysteme bieten durch ihre einheitliche Schnittstelle einen optimalen Abstraktionslayer für datenintensive Anwendungen. Die Flexibilität,

die diese Systeme verbindet, bietet sich für Anwendungen wie Symcloud an. Jedoch sind fehlende Zugriffsrechte auf Anwendungsebene (ACL) und die fehlende ein Problem, das auf Speicherebene nicht gelöst wird. Aufgrund dessen könnte ein solches verteiltes Dateisystem nicht als Ersatz für eine eigene Implementierung, sondern lediglich als Basis hergenommen werden.

Datenbankgestützte Dateiverwaltung sind für den Einsatz in Anwendungen geeignet, die die darunterliegende Datenbank verwendet. Die nötigen Erweiterungen, um Dateien in eine Datenbank zu schreiben, sind aufgrund der Integration sehr einfach umzusetzen. Sie bieten eine gute Schnittstelle, um Dateien zu verwalten. Die fehlenden Möglichkeiten von ACL und Versionierung macht jedoch die Verwendung von GridFS sehr aufwändig. Aufgrund des Aufbaues von GridFS gibt es in der Datenbank einen Dateibaum, indem alle Benutzer ihre Dateien ablegen. Die Anwendung müsste dann dafür sorgen, dass jeder Benutzer nur seine Dateien sehen bzw. bearbeiten kann. Allerdings kann, gerade aus GridFS, mit dem Datei-Chunking (siehe Kapitel 4.1.5 **TODO evtl. Nummer anpassen**) ein sehr gutes Konzept für eine effiziente Dateihaltung entnommen werden.

Da aufgrund verschiedenster Schwächen keine der Technologien eine adäquate Lösung für die Dateihaltung in Symcloud bietet, wird im nächsten Kapitel versucht ein optimales Speicherkonzept für das aktuelle Projekt zu entwickeln.

3.3 Zusammenfassung

TODO Zusammenfassung komplettes Kapitel

4 Konzept für Symcloud

TODO nur Notizen Dieses Kapitel befasst sich mit der Erstellung eines Speicherkonzeptes für Symcloud. Symcloud wird sowohl als eigenständige Server-Applikation als auch als Library für die Verwendung in einer bestehenden Applikation gestaltet. Es baut auf einer verteilten Datenbank RIAK auf und ist dadurch für sich gesehen sehr sicher. Als Ganzes gesehen, fungiert Symcloud als eigenständiges Storage-System. Bei der Verbindung mit anderen Symcloud-Servern fungiert dieses Netzwerk als verteiltes System, mit dem es möglich ist, konfigurierbare Replikationen von Nutz- und Metadaten durchzuführen. Konzeptionell gibt es bei Symcloud auch eine Suchmaschine, mit der es möglich sein sollte, Daten verteilt zu suchen.

Die Sulu-Oberfläche wird über eine Rest-Schnittstelle mit Symcloud kommunizieren. Bestenfalls könnten Benutzerdaten über den **UserProvider** von Sulu mitverwendet werden. Mittels Cookie Authentifizierung könnte JavaScript direkt mit der Schnittstelle kommunizieren ohne sich erneut anzumelden.

Ebenfalls denkbar wäre auch eine Authentifizierung mittels Key und Secret, wie es auch bei Amazon S3 implementiert wurde. Diese Kompatibilität könnte auch auf die REST-Schnittstelle ausgeweitet werden.

TODO was wird implementiert

4.1 Überblick

Die Architektur ist gegliedert in Kern-Komponenten und optionale Komponenten. In der Abbildung 9 ist die Kopplung der Komponenten zu erkennen. Die Schichten sind jeweils über ein Interface entkoppelt und ein Adapter entkoppelt den jeweiligen Datenbankzugriff.

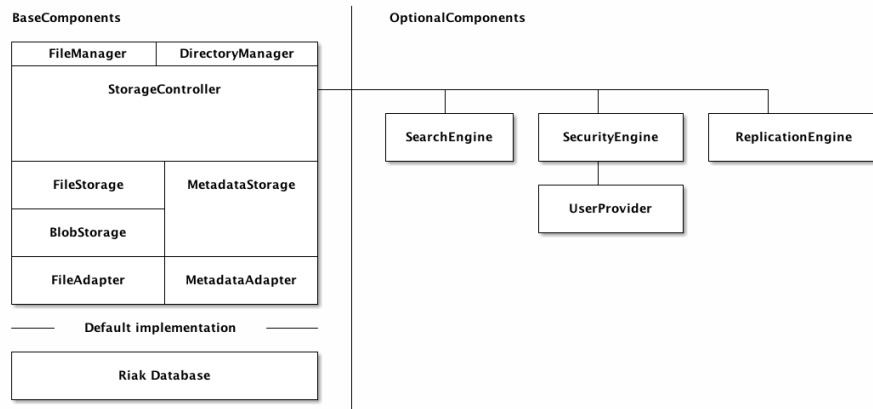


Abbildung 9: Architektur für “Symcloud-DistributedStorage”

Im Rahmen dieser Arbeit entstand eine Beispiel Implementierung mit der verteilten Datenbank Riak für die Speicherung aller Informationen.

4.1.1 PHP Stream & Rest API

TODO nur Notizen Eventuell Zugriff über PHP Stream wenn die Library in die Applikation eingebettet ist oder eine Rest-API, falls dies als eigenständige Applikation (long running process) umgesetzt wird. Die REST-API könnte, bis zu einem gewissen grade, kompatibel zu der S3 Schnittstelle sein.

4.1.2 StorageController

TODO nur Notizen Zentrale Zugriffsschnittstelle

4.1.3 SecurityController

TODO nur Notizen Bearbeitet und überprüft Datei Berechtigungen.

4.1.4 Metadaten Storage

TODO nur Notizen Entweder auch auf RIAK oder MySQL je nach dem wo unstrukturierte Daten abgelegt werden. Hier werden die Daten zum File abgelegt. Zum einen die Struktur / ACL / Größe / Name / Replikationen (auf welchen Servern) / ... Strukturelle Zugriffe wie `ls` / `mkdir` / `prop` gehen nur über diese Schnittstelle und die Daten müssen nicht gelesen werden.

Später können hier unstrukturierte Daten wie Titel / Beschreibung / Referenzen und Includes (aus xanadu) zusätzlich abgelegt werden.

“Buckets” (evtl. anderer Name) dienen zur Gruppierung. Diese Gruppierungen können gemeinsame Optionen und Benutzerrechte besitzen. Benutzerrechte auf einzelne Objekte ist nicht vorgesehen, da es nicht in den Anforderungen benötigt wird.

4.1.5 FileStorage

TODO nur Notizen Eventuell Speicherkonzept aufbauend auf einem Blob Storage. Dateien werden in z.b. 8MB große Blöcke geteilt und anhand ihres Hash-wertes in eine Datei geschrieben. Der Hash fungiert hier als eine Art ID. Diese Daten könnten dann in einer Objekt-Datenbank wie RIAK gespeichert werden. Alternativ wäre auch eine Speicherung auf dem Filesystem möglich. Dies könnte durch XtreamFS ebenfalls verteilt aufgebaut sein. Ein zusätzliches Objekt mit einem Array aus Blob-IDs würde dann eine Datei darstellen. Diese bekäme dann die den Hash-wert der Datei als seine ID.

Diese Schicht übernimmt auch die Versionierung der Dateien. Dies geschieht im Zusammenspiel mit dem Metadaten-Storage, da die Informationen zu einer Version ebenfalls dort abgelegt werden.

TODO Beschreibung Chunking! Vorteile, Nachteile, ...

TODO warum RIAK und nicht GridFS oder XtremFS

Ein mögliches Datenmodell wäre das von GIT.

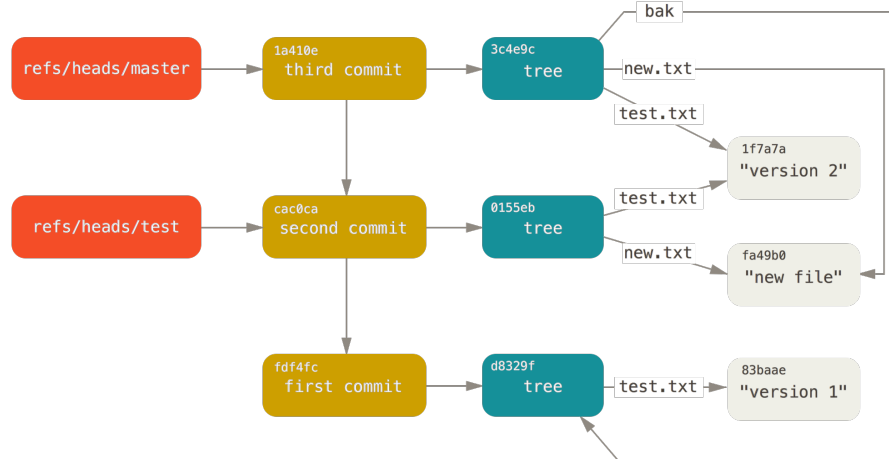


Abbildung 10: Git Datenmodell [Quelle <http://git-scm.com/book/it/v2/Git-Internals-Git-References>]

4.2 Zusammenfassung

Symcloud verwendet nicht nur ein verteiltes System (RIAK), es ist auch selbst ein verteiltes System, das die Metadaten/Nutzdaten trennt und diese über eine Schnittstelle zur Verfügung stellt. Zusätzlich bietet es die Möglichkeit Replikationen zu konfigurieren und eine Suche über alle Verknüpften Server durchzuführen.

Es kann pro Bucket festgelegt werden, welcher Benutzer Zugriff auf diesen hat bzw. ob er diese durchsuchen darf. Dies bestimmt die Einstellungen des Replikators, der die Daten anhand dieser Einstellungen über die verbundenen Instanzen verteilt.

Beispiel:

- Bucket 1 hat folgende Policies:
- SC1 User1 gehört der Bucket
- SC2 User2 hat Leserechte
- SC3 User3 hat Lese- und Schreibrechte

Der Replikator wird nun folgendermaßen vorgehen.

1. Die Metadaten des Buckets werden auf die Server SC2 und SC3 repliziert.
2. Die Nutzdaten (aktuellste Version) des Buckets werden auf den Server SC3 repliziert und aktuell gehalten.
3. Beides wird automatisch bei Änderungen durchgeführt.
4. Beim lesen der Datei wird SC2 bei SC1 oder SC3 (je nach Verfügbarkeit) die Daten holen und bei sich persistieren. Diese Kopie wird nicht automatisiert von SC3 upgedated, sie wird nur bei Bedarf aktualisiert.
5. Bei Änderung einer Datei des Buckets auf SC3 werden die Änderungen automatisch auf den Server S1 gespielt.

Die Suchschnittstelle wird bei der Suche nach Dateien für den User2 oder User3 auf das Bucket durchsuchen. Jedoch wird der User3 die Daten in seinem eigenen Server suchen und nicht bei S1 nachfragen. Da S2 nicht immer aktuelle Daten besitzt, setzt er bei der Schnittstelle S1 eine Anfrage ab, um die Suche bei sich zu Vervollständigen.

Dieses Konzept vereint die größten Vorteile, die im vorherigen Kapitel beschrieben wurden.

5 Datenmodel

TODO nur Notizen In diesem Kapitel wird das Datenmodell für die Datenhaltung behandelt. Es sollte alle Anforderungen an das Projekt erfüllen, um eine optimale und effiziente Datenhaltung zu gewährleisten.

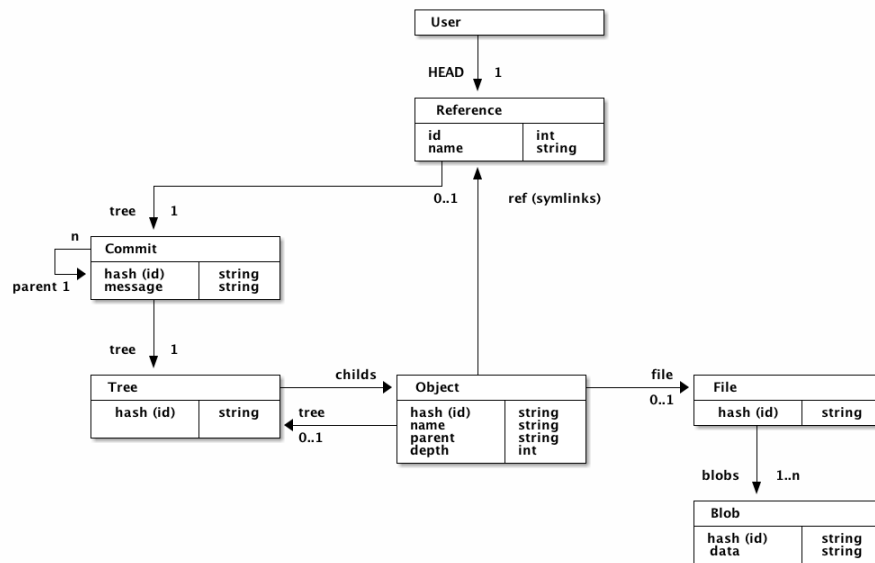


Abbildung 11: Datenmodell für “Symcloud-DistributedStorage”

Das Datenmodell ist an GIT angelehnt. Details zu diesem Model kann in der Abbildung 11 begutachtet werden.

5.1 Exkurs: GIT

GIT¹² ist ein verteilte Versionsverwaltung, das ursprünglich entwickelt wurde, um den Source-Code des Linux Kernels zu verwalten.

Die Software ist im Grunde eine Key-Value Datenbank. Es werden Objekte in

¹²<http://git-scm.com/>



Abbildung 12: GIT-Logo

Form einer Datei abgespeichert, in dem jeweils der Inhalt des Objekts abgespeichert wird. Der Name der Datei enthält den Key des Objektes. Dieser Key wird berechnet indem ein sogenannter SHA berechnet wird. Der SHA ist ein mittels Secure-Hash-Algorithm berechneter Hashwert der Daten. Das Listing ?? zeigt, wie ein SHA in einem Terminal berechnet werden kann.

```
$ OBJECT='blob 46\0{"name": "Johannes Wachter", "job": "Web-Developer"}'
$ echo -e $OBJECT | shasum
6c01d1dec5cf5221e86600baf77f011ed469b8fe -
```

Im Listing ?? wird ein GIT-Objekt vom Typ BLOB erstellt und in den `objects` Ordner geschrieben.

```
$ OBJECT='blob 46\0{"name": "Johannes Wachter", "job": "Web-Developer"}'
$ echo -e $OBJECT | git hash-object -w --stdin
6c01d1dec5cf5221e86600baf77f011ed469b8fe
$ find .git/objects -type f
.git/objects/6c/01d1dec5cf5221e86600baf77f011ed469b8fe
```

Die Objekte in GIT sind immutable, also nicht veränderbar. Ein einmal erstelltes Objekt wird nicht mehr aus der Datenbank gelöscht. Bei der Änderung eines Objektes wird ein neues Objekt mit einem neuen Key erstellt.

5.1.1 Objekt Typen

GIT kennt folgende Typen:

Ein **BLOB** repräsentiert eine einzelne Datei in GIT. Der Inhalt der Datei wird in einem Objekt gespeichert. Bei Änderungen ist GIT auch in der Lage Inkrementelle DELTA-Dateien zu speichern. Beim wiederherstellen werden diese DELTAs der Reihe nach aufgelöst. Ein BLOB besitzt für sich gesehen keinen Namen.

Der **TREE** beschreibt ein Ordner im Repository. Ein TREE enthält andere TREE bzw. BLOB Objekte und definiert damit eine Ordnerstruktur. In einem TREE werden auch die Namen zu BLOB und TREE Objekten festgelegt.

Der **COMMIT** ist ein Zeitstempel eines einzelnen TREE Objektes. Im folgenden Listing ?? ist der Inhalt eines COMMIT Objektes auf einem Terminal ausgegeben.

```
1 $ git show -s --pretty=raw 6031a1aa
2 commit 6031a1aa3ea39bbf92a858f47ba6bc87a76b07e8
3 tree 601a62b205bb497d75a231ec00787f5b2d42c5fc
4 parent 8982aa338637e5654f7f778eedf844c8be8e2aa3
5 author Johannes Wachter <johannes.wachter@massiveart.at> 1429190646 +0200
6 committer Johannes Wachter <johannes.wachter@massiveart.at> 1429190646 +0200
7
8 added short description gridfs and xtreamfs
```

Das Objekt enthält folgende Werte:

Zeile	Name	Beschreibung
2	commit	SHA des Objektes
3	tree	TREE-SHA des Stammverzeichnisses
4	parent(s)	Ein oder mehrere Vorgänger
5	author	Verantwortlicher für die Änderungen
6	committer	Ersteller des COMMITs
8	comment	Beschreibung des COMMITs

Anmerkungen:

- Ein COMMIT kann mehrere Vorgänger haben wenn sie zusammengeführt werden. Zum Beispiel würde dies bei einem MERGE verwendet werden.
- Der Autor und Ersteller des COMMITs können sich unterscheiden, wenn zum Beispiel ein Benutzer einen PATCH erstellt ist er der Verantwortliche für die Änderungen. Der Benutzer, der den Patch nun auflöst und den `git commit` Befehl ausführt, ist der Ersteller.

Eine REFERENCE ist ein Verweis auf einen bestimmten COMMIT. Aufbauend auf diese Verweise, ist das Branching-Model von GIT aufgebaut.

5.1.2 Anforderungen

Das Datenmodell von GIT erfüllt folgende Anforderungen von Symcloud:

Versionierung Durch die Commits können Versionshistorien einfach abgebildet werden und diese effizient durchsucht werden. Will ein Benutzer sehen, wie sein Dateibaum vor ein paar Wochen ausgehen hat, kann das System

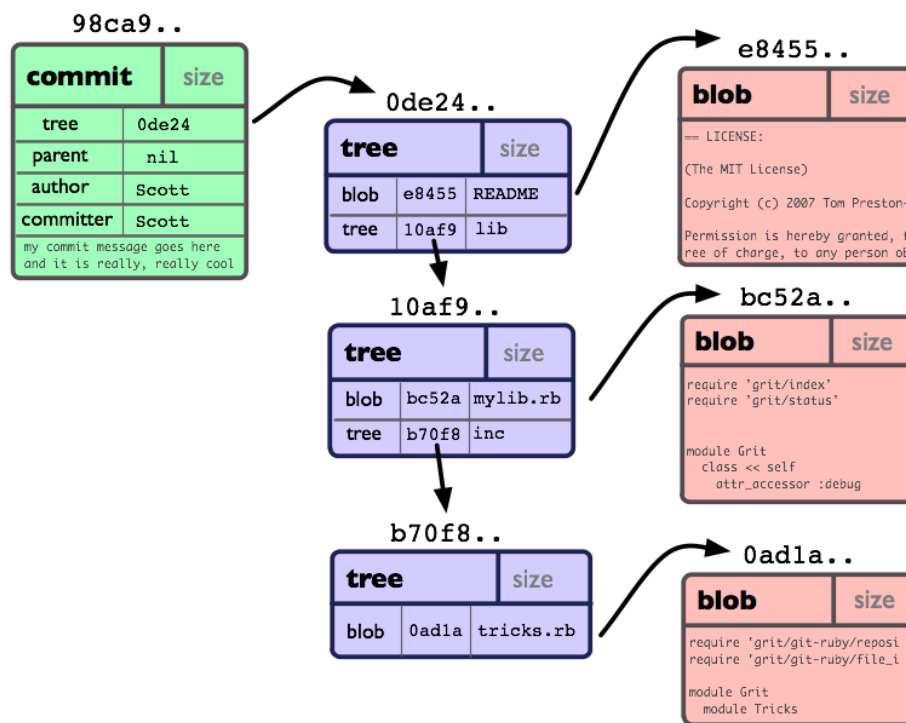


Abbildung 13: Beispiel eines Repositories (Chacon 2015)

nach einem geeigneten Commit durchsuchen (anhand der Erstellungszeit) und anstatt des neuesten Commits, diesen Commit für die weiteren Datenbankabfragen verwenden.

Shares (TODO besserer Name, verwende Begriff aus Kapitel 1.3)

Mit den Referenzen, können für jeden Benutzer mehrere Namensräume geschaffen werden. Jeder dieser Namensräume erhält einen eigenen Dateibaum und kann von mehreren Benutzern verwendet werden. Damit können Shares einfach abgebildet werden. Jede Referenz kann später auch für Benutzer eigene Berechtigungen erhalten und dadurch eine Art ACL eingerichtet werden.

Symlinks Ebenfalls mit den Referenzen, können sogenannte Symlinks erstellt werden. Diese Symlinks werden im System verwendet, um Shares an einer bestimmten Stelle des Dateibaums eines Benutzers zu platzieren.

5.1.3 Zusammenfassung

TODO Zusammenfassung GIT Datenmodel

Vorteil der immutable (nicht veränderbaren) Datenpakete ist das Caching, das auf jeder Maschine durchgeführt werden kann, ohne ein PURGE zu benötigen, da sich Objekte in der Datenbank nicht ändern sondern nur neue dazu kommen. Dies gilt für alle Objekte in diesem Model außer Referenzen. Diese müsse bei jedem Zugriff aus der Datenbank geladen werden.

5.2 Details (TODO Bessere Überschrift)

Jedoch muss es für die Speicherung in einer NoSQL Datenbank leicht angepasst werden.

TODO konzept des Dateimodels

6 Implementierung

In diesem Kapitel werden die einzelnen Komponenten, die für Symcloud entwickelt wurden, genauer betrachtet.

TODO Liste von Themen:

- Distributed Storage:
- Dateimodell
 - Referenzen
 - Symlinks
 - Versionierung
- Datenbank Abstraktion:
 - Warum Riak und nicht GridFS, S3 oder XtremFS?
 - Beschreibung und Ansätze um einen “Lokalen” Adapter zu implementieren
- Sync-Client Abläufe und Implementierung
- Verteilte Aspekte
 - Replikationen
 - Lock-Mechanismen
 - Autorisierung

6.1 OAuth2

Für die Authentifizierung wurde das Protokoll OAuth in der Version 2 implementiert. Dieses offene Protokoll erlaubt eine standardisierte, sichere API-

Autorisierung für Desktop, Web und Mobile-Applikationen. Initiiert wurde das Projekt von Blaine Cook und Chris Messina. (“OAuth – Wikipedia” 2015)

Der Benutzer kann einer Applikation den Zugriff auf seine Daten autorisieren, die von einer andere Applikation zur Verfügung gestellt wird. Dabei werden nicht alle Details seiner Zugangsdaten preisgegeben. Typischerweise wird die Weitergabe eines Passwortes an Dritte vermieden. (“OAuth – Wikipedia” 2015)

6.1.1 Begriffe

In OAuth2 werden folgende vier Rollen definiert:

Resource owner Besitzer einer Ressource, die er für eine Applikation bereitstellen will.

Resource server Der Server, der die Geschützten Ressourcen verwaltet. Er ist in der Lage Anfragen zu akzeptieren und die geschützten Ressourcen zurückzugeben, wenn ein geeignetes und valides Token bereitgestellt wurde.

Client Die Applikation stellt Anfragen, im Namen des Ressourceneigentümers, an den Resource server. Sie holt sich vorher die Genehmigung zu diesen geschützten Ressourcen.

Authorization server Der Server, der Zugriffs-Tokens, nach der erfolgreichen Authentifizierung des Ressourceneigentümers, bereitstellt.

Scopes TODO

Die Interaktion zwischen “Resource server” und “Authorization server” ist nicht spezifiziert. Der Autorisierungsserver und Ressourcenserver können auf dem selben Server bzw. in der selben Applikation betrieben werden. Eine andere Möglichkeit wäre es, dass die beiden Server auf verschiedenen Server zu betreiben.

Ein Autorisierungsserver kann auch Zugriffstoken für mehrere Ressourcenserver bereitstellen. (Hardt 2012, Seite 5)

6.1.2 Protokoll Ablauf

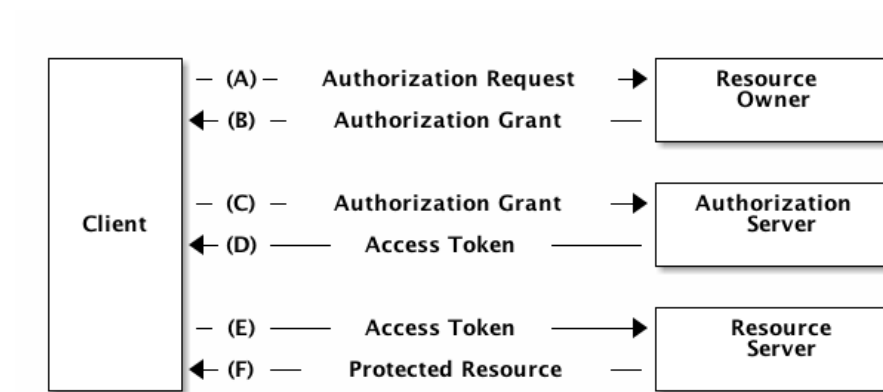


Abbildung 14: Ablaufdiagramm des OAuth

Der Ablauf einer Autorisierung (Hardt 2012, Seiten 6 ff) mittels OAuth2, der in der Abbildung 14 abgebildet ist, enthält folgende Schritte:

- A) Der Client fordert die Genehmigung des “Resource owner”. Diese Anfrage kann direkt an den Benutzer gemacht werden (wie in der Abbildung dargestellt) oder vorzugsweise indirekt über den “Authorization server” (wie zum Beispiel bei Facebook).
- B) Der Client erhält einen “authorization grant”. Er repräsentiert die Genehmigung des “Resource owner” die geschützten Ressourcen zu verwenden.
- C) Der Client fordert einen Token beim “Authorization server” mit dem “authorization grant” an.
- D) Der “Authorization server” authentifiziert den Client, validiert den “authorization grant” und gibt einen Token zurück.

- ### 6.1.3 Anwendung

6.2 Synchronisierungsprogramm: Jibe

Das Programm wurde mit Hilfe der Symfony Konsole-Komponente¹³ umgesetzt. Diese Komponente ermöglicht eine schnelle und unkomplizierte Entwicklung solcher Konsolen-Programme.

---		---	---
/\ \		/\ \	/\ \
\:\ \	---	/:\ \	/:\ \
--- /:\ \	/\ \	/:\ \	/:\ \
/\ /:\ \	\:\ \	/:\ \	/:\ \
/\ /:\ \	/:\ \	/:\ \	/:\ \

48


```

\:\:/ /      _:/\/_/ /:/\:\ \:|_| /:/\:\ \:\_\
\::/ /      /\:/ /      \:\~\:\:/ / \:\~\:\ \/_/
 \_/_/      \::/_/      \:\ \:/ /      \:\ \:\_\
              \:\_\      \:\:/ /      \:\ \/_/
              \_/_/      \_/_/_/      \:\_\
                          \_/_/

```

Token-Status: OK

```
run jibe sync to start synchronization
```

Ein Konsolen-Programm besteht aus verschiedenen Kommandos, die über einen Namen aufgerufen werden können. Im diesem Beispiel wurde das Standard-Kommando des Tools aufgerufen. Über den Befehl `php jibe.phar sync` kann der Synchronisierungsvorgang gestartet werden. Alle Abhängigkeiten des Tools werden zusammen in einen PHAR-Container¹⁴ geschrieben. Dieser ähnelt dem Format eines Java-JAR Archivs. Dieses Format wird in der PHP-Gemeinschaft oft verwendet um Komplexe Applikationen wie zum Beispiel PHPUnit¹⁵ (ein Test Framework für PHP) auszuliefern.

```
$ php jibe.phar configure
```

```
Server base URL: http://symcloud.lo
```

```
Client-ID: 9_1442hepr9cpw8wg8s0o40s8gc084wo8ogso8wogowookw8k0sg
```

```
Client-Secret: 4xvv8pn29zgoccos0c4g4sokw0ok0sgkgkso04408k0ckosk0c
```

```
Username: admin
```

```
Password:
```

Fehlende Argumente können vom Benutzer automatisch abgefragt werden. Eine Validierung, von zum Beispiel der URL, können direkt in einem Kommando implementiert werden.

¹⁴<http://php.net/manual/de/intro.phar.php>

¹⁵<https://phpunit.de/>

Diese Kommandos stehen dem Benutzer zur Verfügung:

configure Konfiguriert den Zugang zu einer Symcloud Installation. Falls notwendig koordiniert sich das Tool mit der Installation, um andere Informationen zu Repliken oder verbundenen Installationen, zu erhalten.

refresh-token Aktualisiert das Zugang-Token von OAuth2. Dies ist Notwendig, da diese über ein Ablaufzeitpunkt verfügen.

status Gibt den aktuellen Status des Zugangs-Token aus. Wenn kein andere Kommando angegeben wurde, wird dieses aufgerufen.

sync Startet den Synchronisierungsvorgang. Über die Option `-m` kann eine Nachricht zu dem erstellten Commit angefügt werden.

6.2.1 Architektur

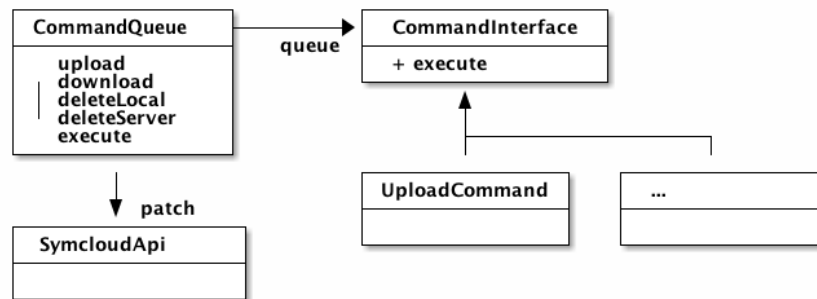


Abbildung 15: Architektur von Jibe

Der Zentrale Bestandteil von Jibe ist eine **CommandQueue** (siehe Abbildung 15). Sie sammelt alle nötigen Kommandos ein und führt sie dann nacheinander aus. Diese Queue ist nach den “Command Pattern” entworfen. Folgende Befehle können dadurch aufgerufen werden:

Upload Datei auf den Server hochladen

Download Datei wird vom Server heruntergeladen und lokal in die Datei geschrieben.

DeleteServer Datei auf dem Server wird gelöscht.

DeleteLocal Lokale Datei wird gelöscht.

Aus diesen vier Kommandos lässt sich nun ein kompletter Synchronisierungsvorgang abbilden.

6.2.2 Kommunikation

Aufgrund der Datenstruktur ist es notwendig, nicht nur die Daten hochzuladen oder zu löschen, sondern auch alle zusammengefassten Änderungen in einem Request an den Server zu senden. Daher retourniert jedes Kommando ein zusätzlicher Befehl, die am Ende des Synchronisierungsvorgans gesammelt an den Server gesendet werden. Diese Befehle weisen folgende Struktur auf:

```
{  
  "command": "delete",  
  "path": "/test-file.txt"  
}
```

Dieses Kommando führt auf dem Server dazu, dass die angegebene Datei aus dem Baum des Benutzers entfernt wird.

Update

```
{  
  "command": "update",
```

```

    "path": "/test-file.txt",
    "file": "<hashvalue>"
}

```

Dieses Kommando führt auf dem Server dazu, dass die angegebene Datei einen neuen Inhalt besitzt. Identifiziert wird der neue Inhalt, durch den Hashwert, der beim Upload im “Response” retourniert wird.

Commit

```

{
    "command": "commit",
    "message": "<message>"
}

```

Am Ende des PATCH-Requests¹⁶ wird ein Commit ausgeführt. Dieser erstellt am Server einen neue Version des Trees. Aufgrund der Tatsache, dass dies in einem einzigen Request ausgeführt wird, kann es in Zukunft über eine Transaktion gesichert werden.

6.2.3 Abläufe

Für einen kompletten Synchronisierungsvorgang werden folgende Informationen benötigt:

Lokale Hashwerte werden aus den aktuellen Dateibeständen generiert.

Zustand der Dateibestände nach der letzten Synchronisierung. Wenn diese Hashwerte mit den aktuellen Hashwerten verglichen werden, kann zuverlässig ermittelt werden, welche Dateien sich geändert haben. Zusätzlich

¹⁶<http://tools.ietf.org/html/rfc5789#section-2.1>

kann die Ausgangsversion der Änderung erfasst werden um Konflikte zu erkennen.

Aktueller Serverzustand enthält die aktuellen Hashwerte und Versionen aller Dateien. Diese werden verwendet, um zu erkennen, dass Dateien auf dem Server verändert haben bzw. gelöscht wurden.

Diese drei Informationspakete können sehr einfach ermittelt werden. Einzig und alleine der Zustand der Dateien muss nach einer Synchronisierung beim Client gespeichert werden, um diese beim nächsten Vorgang wiederzuverwenden.

Die Tabelle 2 gibt Aufschluss über die Erkennung von Kommandos aus diesen Informationen.

Tabelle 2: Evaluierung der Zustände

hash old	hash version	Download	Upload	Delete	Delete	Conflict
v.				local	server	

1	X	1 1	X	1 2	Nothing to be	x	x	x	x	x
2	X	1 1	Y	1 2	done Server file	x	x			
3	Y	1 - -	X	2 -	changed,					
4	Y	1 1	Z	1 -	download new					
5	Y		Y	1	version Client file					
6	X		-		change, upload					
7	-		X		new version Client					
8 9	X		-		and Server file					
	-		X		changed, conflict					
					Server file					
					changed but					
					content is the					
					same New client					
					file, upload it New					
					server file,					
					download it					
					Server file deleted,					
					remove client					
					version Client file					
					deleted, remove					
					server version					

Folge TODOs für diese Tabelle:

- Lesbarkeit verbessern
- Alter Dateihash hinzufügen
- Ändere X/Y und 1/2 zu Allgemein gültigen Werten (n/n+1)
- Muss aktuell gehalten werden

Beispiel der Auswertungen anhand des Falles Nummer vier:

1. Lokale Datei hat sich geändert: Alter Hashwert unterscheidet sich zu dem aktuellen.
2. Serverversion ist Größer als lokale Version.
3. Aktueller und Server-Hashwert stimmen nicht überein.

Das bedeutet, dass sich sowohl die Serverdatei als auch die Lokale Kopie geändert haben. Dadurch entsteht ein Konflikt, der aufgelöst werden muss. Diese Konflikt Auflösung ist nicht Teil der Arbeit, wird allerdings im Kapitel 8.1 kurz behandelt.

6.2.4 Anwendung

Um nun Jibe mit einer aktiven Installation zu verbinden, müssen folgende Schritte ausgeführt werden.

TODO aktuell halten (evtl. in den Anhang?)

Server

- Erstellen eines OAuth2 Clients mit dem Grant-Type “password, refresh_token”:
`app/console symcloud:oauth2:create-client sync http://www.example.com -g password -g refresh_token`

Lokaler Rechner

- In dem Order, der synchronisiert werden soll, folgendes Kommando ausführen: `php jibe.phar configure` und die geforderten Eingaben durchführen.
- Um eine Synchronisierung durchzuführen reicht es folgendes Kommando auszuführen: `php jibe.phar sync`

TODO Zusammenfassung zum Client

7 Ergebnisse

8 Ausblick

Welche Teile des Konzeptes konnten umgesetzt werden und wie gut funktionieren diese?

8.1 Konfliktbehandlung

Anhang

Amazon S3 System-spezifische Metadaten

Tabelle 3: Objekt Metadaten (“Object Key and Metadata” 2015)

Name	Description
Date	Object creation date.
Content-Length	Object size in bytes.
Last-Modified	Date the object was last modified.
Content-MD5	The base64-encoded 128-bit MD5 digest of the object.
x-amz-server-side-encryption	Indicates whether server-side encryption is enabled for the object, and whether that encryption is from the AWS Key Management Service (SSE-KMS)

Name	Description
	or from AWS-Managed Encryption (SSE-S3).
x-amz-version-id	Object version. When you enable versioning on a bucket, Amazon S3 assigns a version number to objects added to the bucket.
x-amz-delete-marker	In a bucket that has versioning enabled, this Boolean marker indicates whether the object is a delete marker.
x-amz-storage-class	Storage class used for storing the object.
x-amz-website-redirect-location	Redirects requests for the associated object to another object in the same bucket or an external URL.
x-amz-server-side-encryption-aws-kms-key-id	If the x-amz-server-side-encryption is present and has the value of aws:kms, this indicates the ID of the Key Management Service (KMS) master encryption key that was used for the object.
x-amz-server-side-encryption-customer-algorithm	Indicates whether server-side encryption with customer-provided encryption keys (SSE-C) is enabled.

Installation

Dieses Kapitel enthält eine kurze Dokumentation wie Symcloud installiert und deployed werden kann. Es umfasst eine einfache Methode auf einem System und ein verteiltes Setup (sowohl RIAK als auch Symcloud).

Lokal

Verteilt

Literaturverzeichnis

“Amazon S3.” 2015. <http://aws.amazon.com/de/s3/>.

“Amazon S3 and EC2 Performance Report – How Fast Is S3.” 2009. <http://hostedftp.wordpress.com/2009/03/02/>.

“Amazon Web Services: We’ll Go to Court to Fight Gov’t Requests for Data | ITworld.” <http://www.itworld.com/article/2705826/cloud-computing/amazon-web-services-we-ll-go-to-court-to-fight-gov-t-requests-for-data.html>.

Basho Technologies, Inc. 2015. “Riak CS.” <http://docs.basho.com/riakcs/latest/>.

Chacon, Scott. 2015. “Git Book - The Git Object Model.” http://schacon.github.io/gitbook/1_the_git_object_model.html.

“Cloud-Dienste Für Startups: „Automatisierung Ist Pflicht“ [Interview] | T3n.” <http://t3n.de/news/cloud-dienste-startups-amazon-web-services-486480/>.

“Core API Dokumentation.” 2015. <https://www.dropbox.com/developers/core/docs>.

Coulouris, G.F., J. Dollimore, and T. Kindberg. 2003. *Verteilte Systeme: Konzepte Und Design*. Informatik - Pearson Studium. Pearson Education Deutschland. <http://books.google.at/books?id=FfsQAAAACAAJ>.

“GridFS.” 2015. <http://docs.mongodb.org/manual/core/gridfs/>.

Hardt, Dick. 2012. “The OAuth 2.0 Authorization Framework.”

“Introduction to Amazon S3.” 2015. <http://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/dev/Introduction.html>.

“OAuth – Wikipedia.” 2015. <http://de.wikipedia.org/wiki/OAuth>.

“Object Key and Metadata.” 2015. <http://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/dev/UsingMetadata.html>.

“Open Source Private Cloud Software | AWS-Compatible | HP Helion Eucalyptus.” <https://www.eucalyptus.com/eucalyptus-cloud/iaas>.

ownCloud. 2015. *OwnCloud Architecture Overview*. <https://owncloud.com/de/owncloud-architecture-overview>.

“Owncloud Features.” 2015. <https://owncloud.org/features>.

Seidel, Udo. 2013. “Dateisystem-Ueberblick.” *Linux Magazin*.

“Server2Server - Sharing.” 2015. <https://www.bitblokes.de/2014/07/server-2-server-sharing-mit-der-owncloud-7-schritt-fuer-schritt>.

Tanenbaum, A.S., and M. van Steen. 2003. *Verteilte Systeme: Grundlagen Und Paradigmen*. I : Informatik. Pearson Education Deutschland GmbH. <https://books.google.at/books?id=qXGnOgAACAAJ>.

“The Wizbit Open Source Project on Open Hub.” <https://www.openhub.net/p/wizbit>.

“Under the Hood: File Replication.” http://xtreemfs.org/how_replication_works.php.

“Using Versioning.” 2015. <http://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/dev/Versioning.html>.

“Was Ist Dezentralisierung.” 2015. <https://diasporafoundation.org/about>.

“Wie Funktioniert Der Dropbox-Service.” 2015. <https://www.dropbox.com/help/1968>.

“Wizbit: A Linux Filesystem with Distributed Version Control | Ars Technica.” 2008. <http://arstechnica.com/information-technology/2008/10/wizbit-a-linux-filesystem-with-distributed-version-control/>.

“XtreemFS - Architecture, Internals and Developer’s Documentation.”

<http://www.xtreemfs.org/arch.php>.

“XtreemFS Installation and User Guide.” <http://www.xtreemfs.org/xtfs-guide-1.5/index.html>.