

# Google Docs Light

Workshop Web - FS22

22. Mai 2022

Studenten P. Schmucki, J. Villing, K. Zellweger

Dozenten D. König, S. Meichtry, J. Luthiger

Studiengang Informatik

Hochschule Hochschule für Technik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Summary</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Technology Stack</b>	<b>2</b>
2.1	Backend Server . . . . .	2
2.2	Frontend Clients . . . . .	2
2.3	Datenbank System . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Systemübersicht</b>	<b>4</b>
3.1	Services . . . . .	4
3.2	Sequenz . . . . .	4
3.3	Applikationsprotokoll . . . . .	4
3.4	Benutzerverwaltung . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Frontend</b>	<b>5</b>
4.1	Aufbau . . . . .	5
4.2	Ablaufdiagramm . . . . .	8
4.3	State- und Konfliktmanagment . . . . .	8
4.4	Fehler Behandlung . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Backend</b>	<b>9</b>
5.1	Aufbau . . . . .	9
5.2	API . . . . .	10
5.3	Komponenten . . . . .	11
5.4	Sequenz . . . . .	15
5.5	Zustands- und Konfliktmanagment . . . . .	17
<b>6</b>	<b>Testing</b>	<b>19</b>
6.1	Frontend . . . . .	19
6.2	Backend . . . . .	19
6.3	End to End Test . . . . .	19
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>Fazit</b>	<b>20</b>

## 1 Summary

## 2 Technology Stack

Eine zentrale Anforderung an das System ist die konsistente und verzögerungsfreie Darstellung eines Dokuments auf mehreren Klienten. Die Wahl eines geeigneten Kommunikationsprotokolls ist die Grundlage für eine erfolgreiche Lösung.

Wir verwenden HTTP-Event Streams als Grundlage für die Kommunikation zwischen dem Backend Server und den Klienten. Als konkrete Implementation dieser Technologie setzen wir Spring-WebFlux ein. Die weitere Technologieauswahl orientiert sich an diesem Grundsatz Entscheid.

### 2.1 Backend Server

Spring WebFlux ist integriert in das Spring Boot Ökosystem und benötigt daher eine zugrundeliegende JVM. Sprachen die auf der JVM aufbauen, haben den Vorteil, dass sie System Interoperabel sind.

Anstatt Java setzen wir jedoch auf Kotlin als Backend Sprache. Bis jetzt hat kein Mitglied des Projektteams nennenswerte Erfahrung mit Kotlin und wir möchten diese Gelegenheit nutzen, die Sprache in einem Projekt näher kennenzulernen. Wir erwarten die nachfolgenden Vorteile:

- **Null Safty.**
- Kein Boilerplate Code ohne zusatz Dependencies (Lombok).
- Native Unterstützung des [Delegation Patterns](#).
- Flexibles non-blocking programming mit [Coroutines](#).

### 2.2 Frontend Clients

Kein Teammitglied hat bis jetzt vertiefte Erfahrung im Bereich der Frontend-Entwicklung. Daher setzen wir auf das an der FHNW vermittelte Framework React, um die Clients zu implementieren. React bietet mit seinem Komponenten-Model eine einfache Abstraktionsmöglichkeit um die Anwendung sauber zu kapseln. Die Funktionalen JSX Komponenten scheinen leichtgewichtiger im Vergleich zu den HTML-Template-Ansätzen von Angular oder VueJS.

Unser Ziel ist es in diesem Projekt die Kenntnisse in einem Projekt zu vertiefen und die Client-Software möglichst pur funktional zu halten.

### 2.3 Datenbank System

Um die kollaborativ erstellten Dokumente zu persistieren und zu verwalten setzen wir auf eine No-SQL Lösung. Das notwendige Datenmodel lässt sich elegant als *Document* abbilden. Durch den Einsatz einer No-SQL Lösung kann die Representation der Dokumente über alle Layer der Applikation gleichbleibend beibehalten werden, ohne die Notwendigkeit von ORM.

Konkret wird im Projekt MongoDB als Datenbanksystem verwendet. Wir haben uns für diese Variante aufgrund der bestehenden reaktiven Integration in das Springframework entschieden.

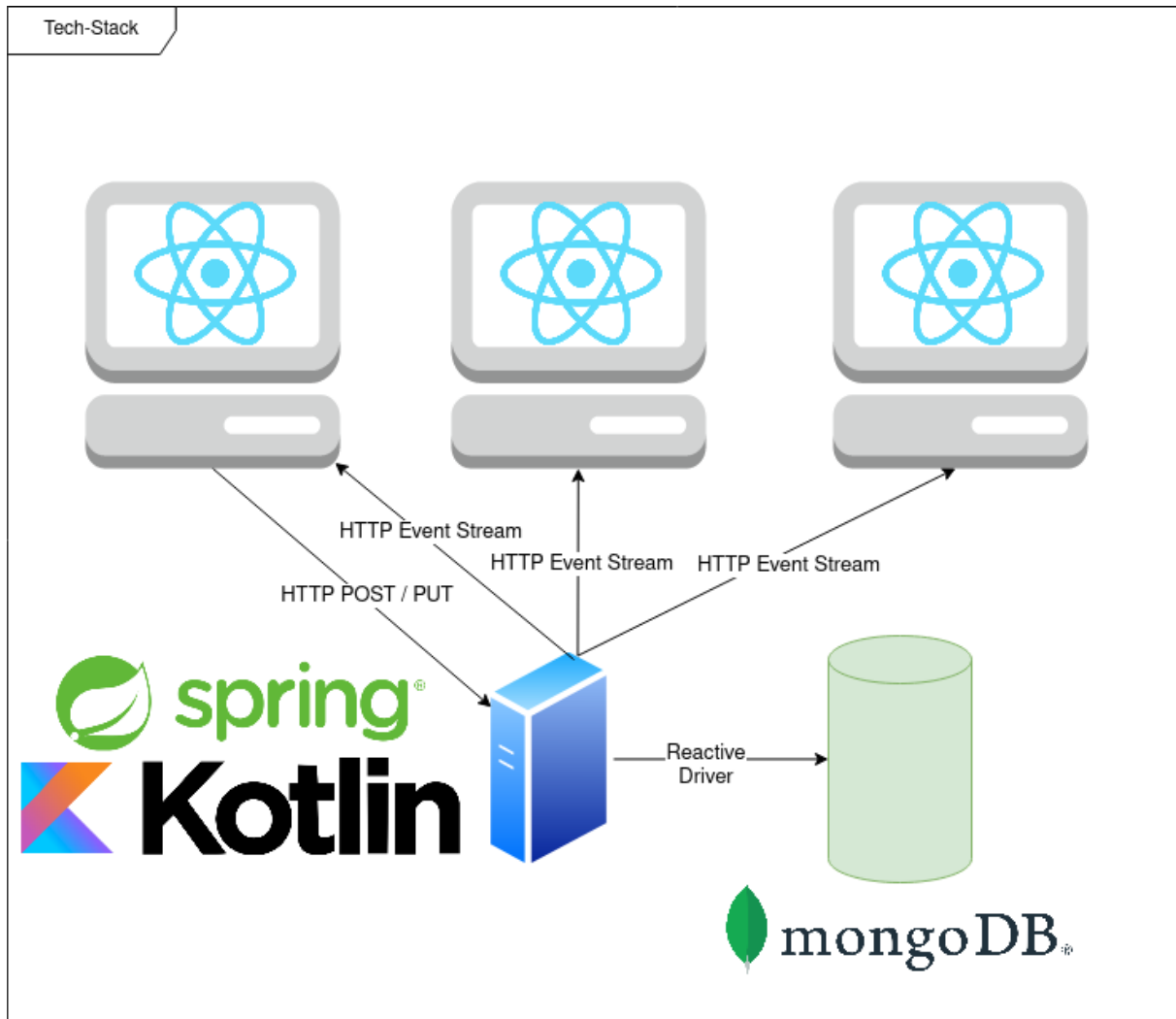


Abbildung 2.1: Technologie Stack

## **3 Systemübersicht**

### **3.1 Services**

### **3.2 Sequenz**

### **3.3 Applikationsprotokoll**

### **3.4 Benutzerverwaltung**

Es ist keine persistente Benutzerverwaltung mit Registrationsprozess implementiert. Nach erstmaligem Anmelden in der Applikation mit einem globalen Benutzer, wird ein zufälliger Author erstellt. Die Daten des Authors werden im Local Storage des Browsers gespeichert, sodass bei erneutem Öffnen der Applikation der gleiche Author wiederverwendet wird.

## 4 Frontend

Das Frontend der TeamDocument Applikation ist als React SPA entwickelt. Einmal angemeldet kann ein Benutzer an der kollaborativen Bearbeitung des Dokumentes teilnehmen.

Folgende Interaktionen sind möglich:

- Ändern des eigenen Namens
- Hinzufügen eines neuen Paragraphen
- Bearbeitung bestehender Paragraphen
- Sperren des Paragraphen an dem gerade gearbeitet wird (implizit)
- Verschieben von Paragraphen innerhalb des Dokuments
- Löschen eines bestehenden Paragraphen
- Wiederherstellen des zuletzt gelöschten Paragraphen (Hidden Feature)

Des Weiteren werden folgende Informationen auf dem UI dargestellt:

- Name des ursprünglichen Authors eines Paragraphen
- Name des Authors welcher aktiv einen Paragraphen bearbeitet.
- Highlight des eigenen aktuellen Paragraphen
- Liste mit allen Dokumentupdates in chronologischer Reihenfolge
- Avatare aller aktiven Benutzer

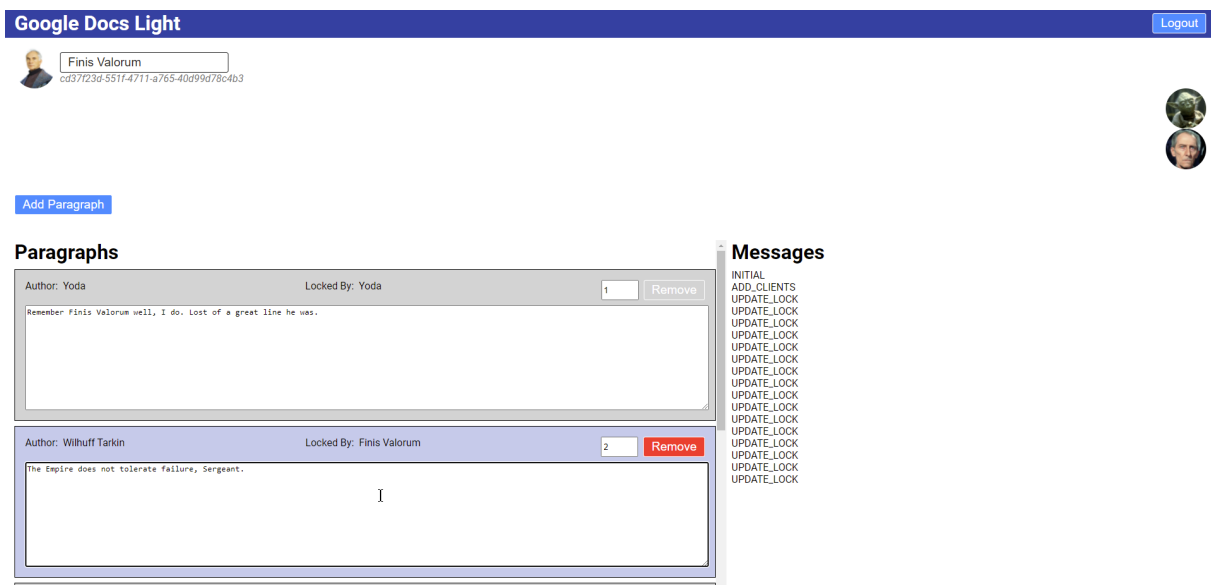


Abbildung 4.1: Team Document User Interface

### 4.1 Aufbau

Die UI-Elemente sind als React-Komponenten umgesetzt und hierarchisch gegliedert. Einzelne Komponenten nutzen zusätzliche Funktionalität, die in kleine Service Module ausgelagert ist.

Die Anbindung ans Backend ist mit zwei unidirektionalen Kanälen realisiert.

Der State der gesamten Applikation wird vom Redux Store bewirtschaftet.



Abbildung 4.2: Komponenten Struktur



## index.js

Das Index File ist der Eintrittspunkt für den Browser. Beim Laden der Applikation wird der Redux Store erstellt und initialisiert. Ebenfalls wird im Local Storage des Browsers geprüft, ob bereits ein User registriert ist. Ist dies nicht der Fall, so wird ein zufälliger Benutzer generiert.

## App.js

Die App Komponente ist das äusserste Element, welches alle anderen Elemente hält. Wir verwenden einen BrowserRouter um zwischen dem eigentlichen Dokument und der Login-Seite zu navigieren.

## DocumentWrapper.js

Wrapper um das Dokument zu schützen. Solange sich ein User noch nicht ordentlich am Backend authentifiziert hat, leitet diese Komponente den Benutzer stetig auf die Login-Page weiter.

## Login.js

Login Formular, welches den Login Service verwendet. Das Formular übersetzt die eingegebenen Credentials in einen Basic Auth Header und sendet damit einen GET Request ans Backend. Bei erfolgreicher Authentifizierung wird das User Principal im Local Storage abgelegt.

## Error.js

Generische Fehlermeldung, welche als modales PopUp angezeigt wird, im Falle eines fehlgeschlagenen Requests.

## Document.js

Document ist der Parent des eigentlichen Dokuments. Hauptsächlich ist sie dafür verantwortlich alle Paragraphen sortiert darzustellen.

## Navbar.js

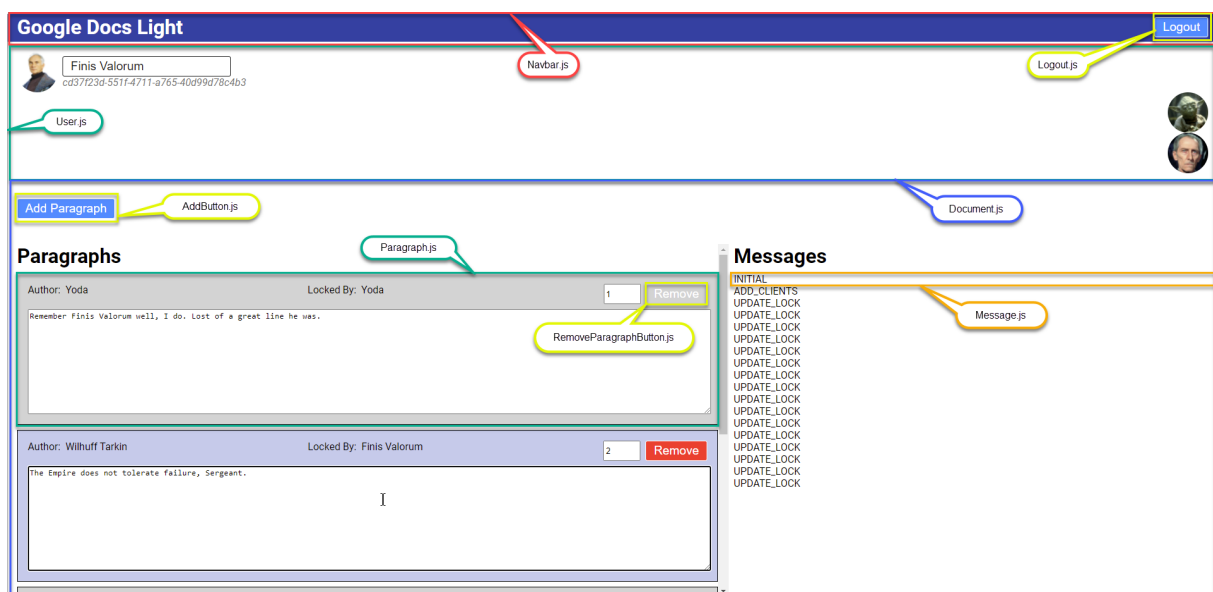


Abbildung 4.3: UI-Components

## 4.2 Ablaufdiagramm

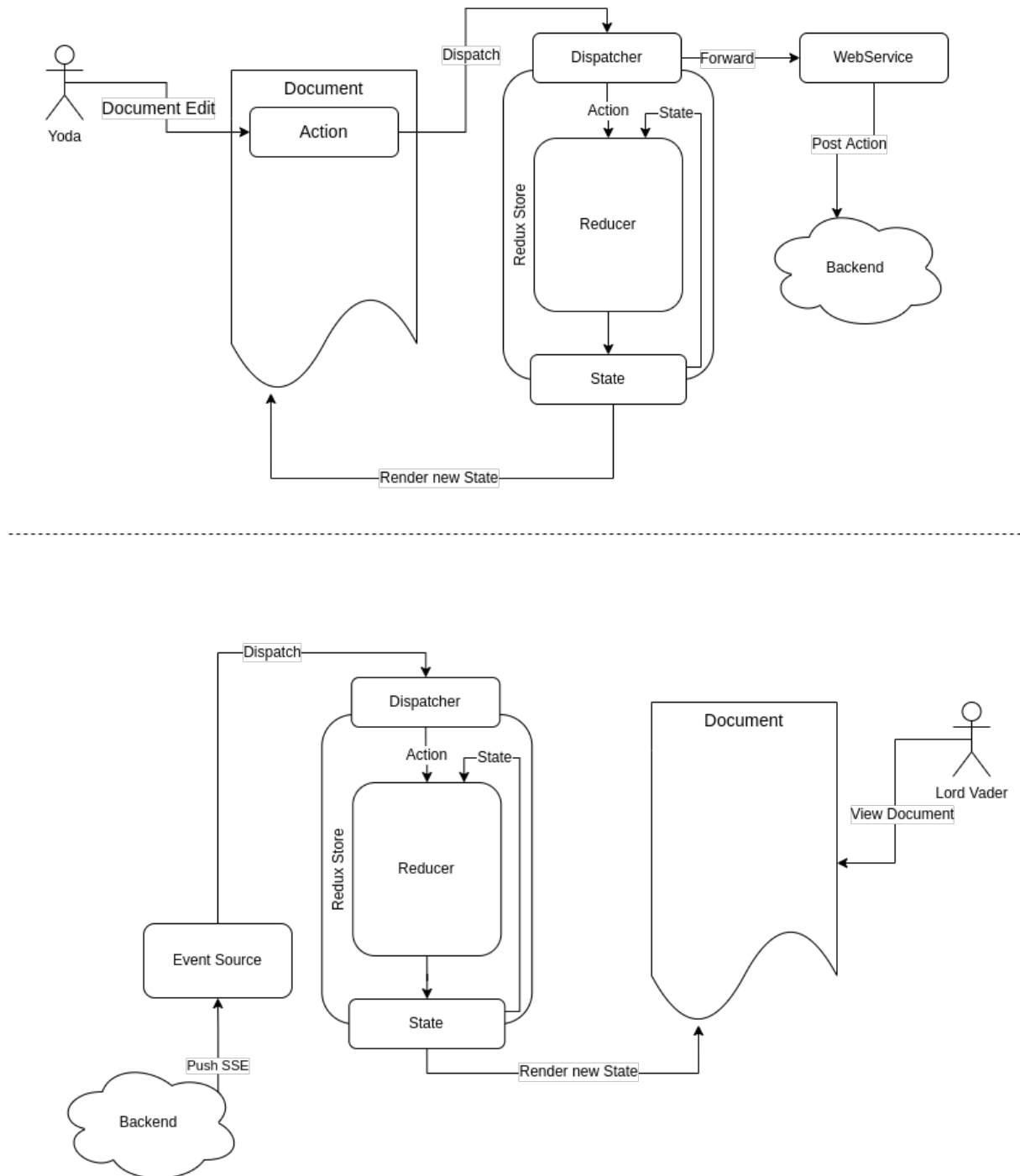


Abbildung 4.4: Datenfluss

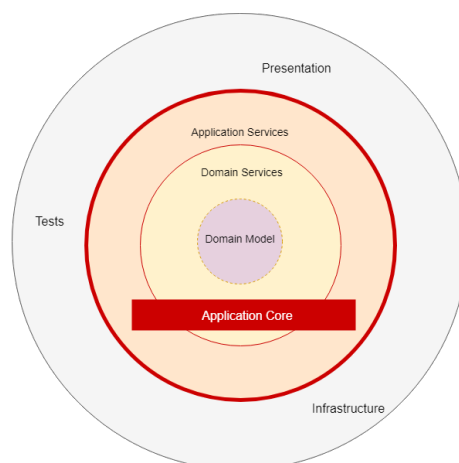
## 4.3 State- und Konfliktmanagement

## 4.4 Fehler Behandlung

## 5 Backend

### 5.1 Aufbau

Der Aufbau der Serverapplikation lehnt sich am Konzept der Onion-Architecture an. In Onion Architecture wird die Applikation in Layer aufgeteilt.



**Abbildung 5.1:** Onion Architecture

Um zu garantieren, dass keine ungewollten Abhängigkeiten zwischen Layern bestehen, können die Layer in eigene Module verpackt und Abhängigkeiten über Interfaces abstrahiert werden. Dies erhöht jedoch die interne Komplexität der Applikation. Die Umsetzung wird aufgrund der geringen Projektgrösse deshalb nicht in unabhängigen Modulen realisiert, sondern über die Package Struktur gelöst. Angesichts dieser Entscheidung wird weiter darauf verzichtet, Abhängigkeiten zwischen Modulen über Interfaces zu abstrahieren. Da es nie mehrere Implementationen einer Komponente geben wird, bringt der Einsatz von Interfaces keinen grossen Mehrwert. Bei der Implementation wird dabei konsequent darauf geachtet, die einzelnen Layer so zu halten, dass diese als eigenständige Module extrahiert werden können. Für die Verwaltung der Komponenten der Serverapplikation wird folgende Packagestruktur definiert:

```
ch.fhnw.woweb.teamdocumentserver
├── config
├── domain
├── persistence
├── service
└── web
```

**Abbildung 5.2:** Package Struktur Cloud Service

Der Domain Layer wird durch das Package domain abgebildet. Dieses beinhaltet die Domänenobjekte und darf keine Abhängigkeiten auf andere Module oder Frameworks beinhalten. Umgekehrt dürfen alle anderen Layer Abhängigkeiten auf den Domain Layer haben. Die Fachlogik der Applikation wird im Domain Service Layer implementiert. Dieser wird durch das Package service abgebildet. Das Package Service beinhaltet alle Komponenten, welche die Domänenobjekte verwalten oder den internen Zustand der Applikation führen. Der Layer Application Services bildet die Brücke zwischen externer Infrastruktur und Domain Services. Er ist in den Packages persistence und web beinhalten abgebildet. Dabei definiert das Package persistence Services, welche für Interaktion mit der Datenbank verwendet werden. Das Package web definiert die HTTP-Endpunkte, welche für die Kommunikation mit dem Frontend des Systems verwendet werden. Letztlich beinhaltet das Package config die technische Konfiguration der Applikation.

## 5.2 API

Die Backendapplikation bietet eine HTTP-Schnittstelle, welche von Frontendapplikationen verwendet werden kann. Die Schnittstelle ermöglicht es, sich im System anzumelden, Dokumente zu laden und Änderungen an Dokumenten zu laden und speichern. Um diese Funktionalität zu ermöglichen, bietet die Schnittstelle die drei Bereiche "Authentication", "Document" und "Message".

### 5.2.1 API Authentication

Macht Authentifizierung

Endpunkt:        /api/v1/authentication  
Methode         GET  
Headers:         Authentication: Basic  
Response Code:   200, 401 oder 500  
Response Body:   application/json

### 5.2.2 API Document

Liefert den Initialen Status und Updates

Endpunkt:        api/v1/document  
Methode         GET  
Headers:         Authentication: Basic  
                  X-ClientId: text  
Response Code:   200, 401 oder 500  
Response Body:   text/event-stream

### 5.2.3 API Message

Verarbeitet Updates

Endpunkt:        /api/v1/message  
Methode         POST  
Headers:         Authentication: Basic  
                  Content-Type: application/json  
Body:            DocumentCommand  
Response Code:   200, 401 oder 500

Stellt den zuletzt gelöschten Paragraphen wieder her.

Endpunkt:        /api/v1/message/restore  
Methode         POST  
Headers:         Authentication: Basic  
Response Code:   200, 401 oder 500

## 5.3 Komponenten

### 5.3.1 Package Domain

Im Zentrum der Domäne stehen die beiden Klassen DocumentCommand und Document.

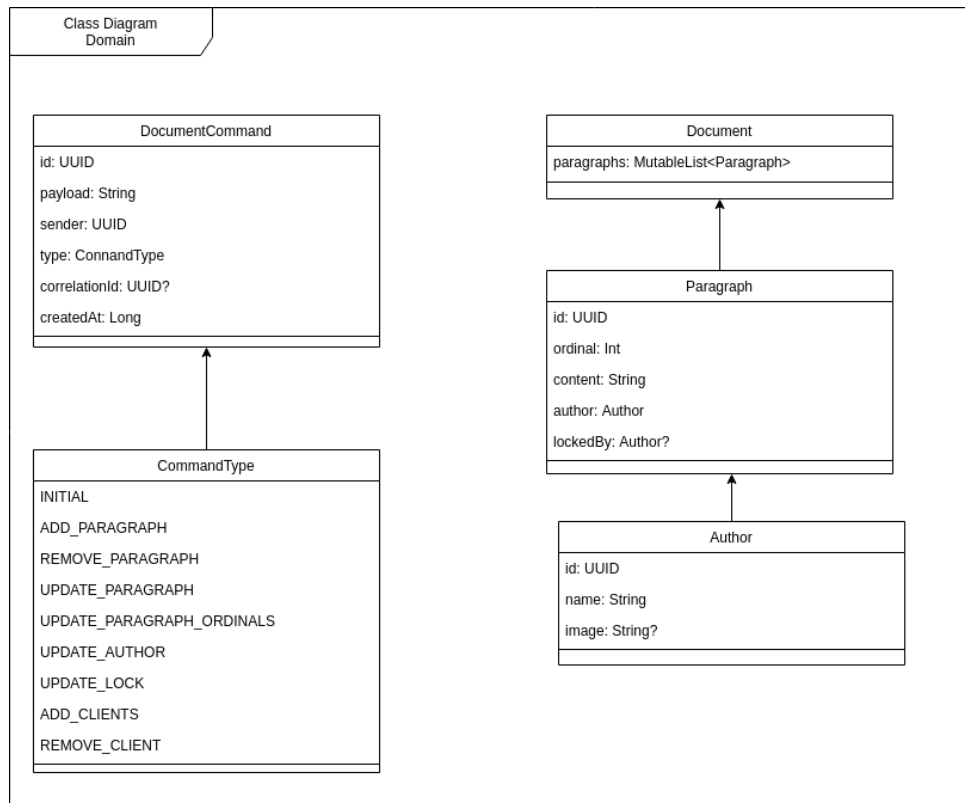


Abbildung 5.3: Klassendiagramm Domain

#### Document

Eine Instanz der Klasse Document repräsentiert den aktuellen Zustand eines Dokuments. Dieser Zustand wird in der Serverapplikation geführt und verwaltet. Ein Document besteht im Wesentlichen aus einer Liste von Paragraphs. Diese Liste kann mutiert, aber nicht ersetzt werden.

#### Paragraph

Eine Instanz der Klasse Document repräsentiert einen Abschnitt in einem Dokument. Jeder Paragraph wird durch eine UUID identifiziert. Ein Paragraph definiert weiter ein Attribut Content welches den Textinhalt des Abschnitts beinhaltet und ein Attribut Ordinal, welches die Position des Abschnitts im Dokument darstellt. Weiter ist jeder Paragraph einem Author zugewiesen. Letztlich hat ein Paragraph ein Optionales Attribut lockedBy. Dieses kann entweder leer (NULL) sein oder einen Author beinhalten. Dieses Feld kann von Consumern der API verwendet werden um das bearbeiten eines Paragraphen zu erlauben oder verbieten.

#### Author

Eine Instanz der Klasse Author repräsentiert einen Benutzer, der an einem Dokument mitarbeitet. Jeder Author wird durch eine UUID identifiziert und muss einen Namen definieren. Weiter besitzt ein Author ein optionales Attribut image. Darin kann die URL zu einem benutzerbild abgespeichert werden

### **DocumentCommand**

Eine Instanz der Klasse DocumentCommand stellt eine Änderung am Zustand einer Document-Instanz dar. DocumentCommands werden als einzige Entität, Persistenzschicht abgelegt werden. Damit DocumentCommands eindeutig identifiziert werden können, beinhaltet jede Instanz ein Attribut vom Type UUID. Diese id wird auch als Identifikator in der MongoDB verwendet.

Die Änderungen welche ein DocumentCommand darstellt, werden über die Attribute payload und type definiert. Die payload hat den Typ String und beinhaltet JSON-Serialisierten des neuen Zustands, der Änderung die vorgenommen werden soll. Das Feld type beinhaltet einen Wert aus der Enum CommandType. Dieser Wert kann in den Domänenservices verwendet werden um die Payload korrekt zu Deserialisieren und die nötigen Änderungen am Document vorzunehmen.

Das Optionale Feld correlationId kann entweder NULL oder eine UUID beinhalten. Eine allfällige UUID zeigt immer auf die Id eines anderen DocumentCommands, welcher mit dem aktuellen Command zusammenhängt. Dadurch wird es möglich die Identifikation der Payload eines Commands zu verwenden, ohne die Payload jedesmal deserialisieren zu müssen.

### **CommandType**

Bei CommandType handelt es sich um eine Enum. Diese Enum beinhaltet alle Arten von DocumentCommands, welche im System bekannt sind. CommandTypes werden als ihr String Wert auf DocumentCommands persistiert.

## **5.3.2 Package Web**

### **AuthenticationController**

Die Klasse AutenticationController implementiert einen RestController. Dieser stellt einen einzelnen GET Endpunkt zur Verfügung, über welchen sich Benutzer mittels Basic Authentication anmelden können.

### **CommandController**

Die Klasse CommandController implementiert einen RestController. Dieser Controller bietet zwei POST Endpunkte zur Verfügung. Über den ersten Endpoint kann eine Liste von DocumentCommands an den Server gesendet werden. Der Endpoint übergibt diese Liste von Commands an den DocumentService. Diese wenden die Änderungen am Zustand des Dokuments an und leiten die Änderungen an andere Teilnehmer weiter. Über den zweiten Endpoint kann ein gelöschter Paragraph wiederhergestellt werden. Die entsprechende Fachlogik wird an den DocumentService delegiert.

### **DocumentStreamUpdateController**

Die Klasse DocumentStreamUpdateController implementiert einen RestController. Dieser Controller ermöglicht es, den aktuellen Zustand eines Dokumentes zu laden und Änderungen am Dokument zu abonnieren. Der Endpoint, welcher dazu zur Verfügung steht erwartet, dass der Custom Header "X-ClientId" gesetzt ist. Dieser muss einen Stringwert beinhalten, welchen den Author der die Daten anfragt identifiziert. Das Laden des Dokuments und das Erstellen der Abonnieung wird an den DocumentService delegiert. Als Rückgabetyt wird "Flux<DocumentCommand>" verwendet. Dadurch ist es möglich den Status des Documents und alle folgenden Änderungen in einem Stream zurückzugeben.

### 5.3.3 Package Services

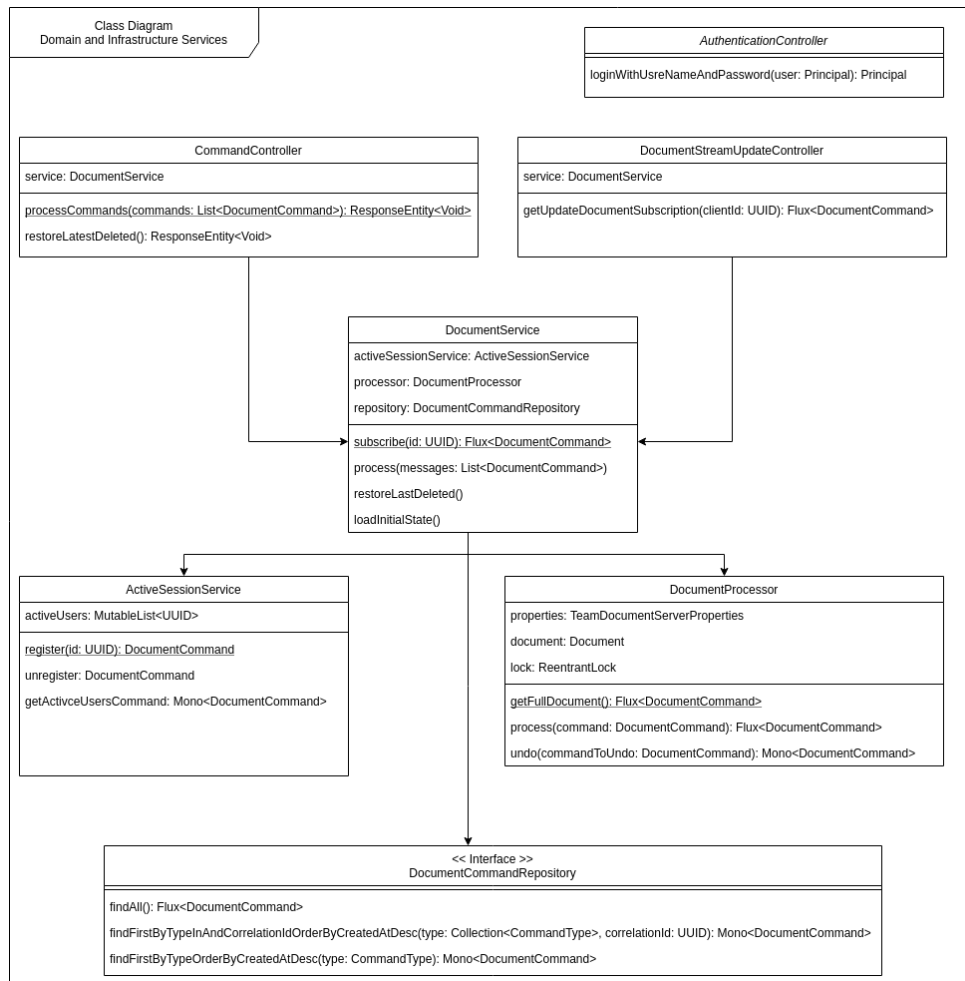


Abbildung 5.4: Klassendiagramm Services

#### DocumentService

Die Klasse `DocumentService` ist dafür Verantwortlich erhaltene Anfragen für Dokumente und Änderungen an Dokumenten zu verarbeiten. Sie delegiert die entsprechende Fachlogik Klassen `ActiveSessionService`, `DocumentProcessor` und `DocumentCommandRepository`.

Die Methode `process` erlaubt es, eine Liste von `DocumentCommands` zu verarbeiten. Dabei wird die Verarbeitung an den `DocumentProcessor` delegiert. Dieser wendet Änderungen an und löst Konflikte auf. Die übergebenen Commands und allfällige Commands zur Konfliktlösung werden vom `DocumentProcessor` zurückgegeben. Der `DocumentService` übergibt diese an das `DocumentCommandRepository` zur persistierung. Anschliesend werden die Persistierten Commands über den Sink veröffentlicht.

Die Methode `subscribe` erlaubt es, einen Stream des aktuellen Zustands des Dokuments und aller künftigen Änderungen an einem Dokument anzufragen. Diese Informationen werden aus drei Quellen zusammengetragen. Zuerst wird der aktuelle Stand des Dokuments beim `DocumentProcessor` angefragt. Anschliesend wird eine Liste aller aktuellen Autoren des Dokuments aus dem `ActiveSessionService` geladen. Letztlich wird eine Subscription auf den Sink erstellt. Diese drei Quellen werden zusammengefasst aus der Methode zurückgegeben. Um sicherzustellen, dass die Liste der aktiven Nutzer aktuell ist, wird zudem beim Öffnen der Subscription eine Registrierung beim `ActiveSessionService` durchgeführt. Diese Registrierung wird beim Schliessen der Subscription wieder entfernt.

### **DocumentProcessor**

Die Klasse DocumentProcessor führt den Zustand des Dokuments, welches mit der Applikation verwaltet wird. Er ist dafür Verantwortlich, Änderungen an diesem Dokument vorzunehmen. Dazu besitzt Sie ein Attribut document vom gleichnamigen Typ. Über die Methode process kann ein einzelner DocumentCommand angewendet werden. Der Processor verarbeitet denm Command anhand des gesetzten CommandTypes. Dabei muss er allfällige Konflikte erkennen und auflösen. Nach der Verarbeitung des Commands werden alle Änderungen und Konfliktlösungen als DocumentCommands zurückgegeben.

### **ActiveSessionService**

Die Klasse ActiveSessionService führt den Zustand der aktiven Nutzer einer Session. Dazu führt die Klasse eine Liste der Identifikatoren aller aktiven Nutzer einer Session. Der Service bietet Methoden um die aktiven Benutzer auszulesen, einen neuen Benutzer zu registrieren und einen Benutzer zu entfernen.

## **5.3.4 Package Persistence**

### **DocumentCommandRepository**

Das Interface DocumentCommandRepository erweitert das Interface ReactiveCrudRepository<DocumentCommand, UUID> von Spring. Es kann damit verwendet werden um Create, Read, Update und Delete Optionen für DocumentCommands in der angebundenen MongoDB auszuführen.

## **5.3.5 Konfiguration**

### **Spring**

Alle Klassen im Package SService bind mit der Spring-Boot-Annotation "@Service" versehen. Sie können damit automatisch von Spring-Boot instanziiert werden und stehen Sie in Spring Beans zur Verfügung und können über Constructor-Injection verwendet werden.

Alle Klassen im Package "web bind mit der Spring-Boot-Annotation "@RestController" versehen. Sie können damit automatisch von Spring-Boot instanziiert werden.

### **application.yml**

Die Datei application.yml beinhaltet die konfigurierbaren Werte der Serverapplikation. Dies beinhaltet die Konfiguration der angebundenen MongoDB, Referenzen zu Umgebungsvariablen mit User Credentials und Logging Konfiguration.

### **TeamDocumentServerProperties**

Die Konfigurationsklasse TeamDocumentServerProperties ist mit der Annotation "@ConfigurationProperties(prefix = teamdocument)" versehen. Sie kann wo nötig in den Serviceklassen verwendet werden, um auf Werte aus dem application.yaml zuzugreifen.

### **WebConfig**

Die Klasse WebConfig beinhaltet die Konfiguration für SpringSecurity.



## 5.4 Sequenz

### 5.4.1 Subscription Öffnen und Schliessen

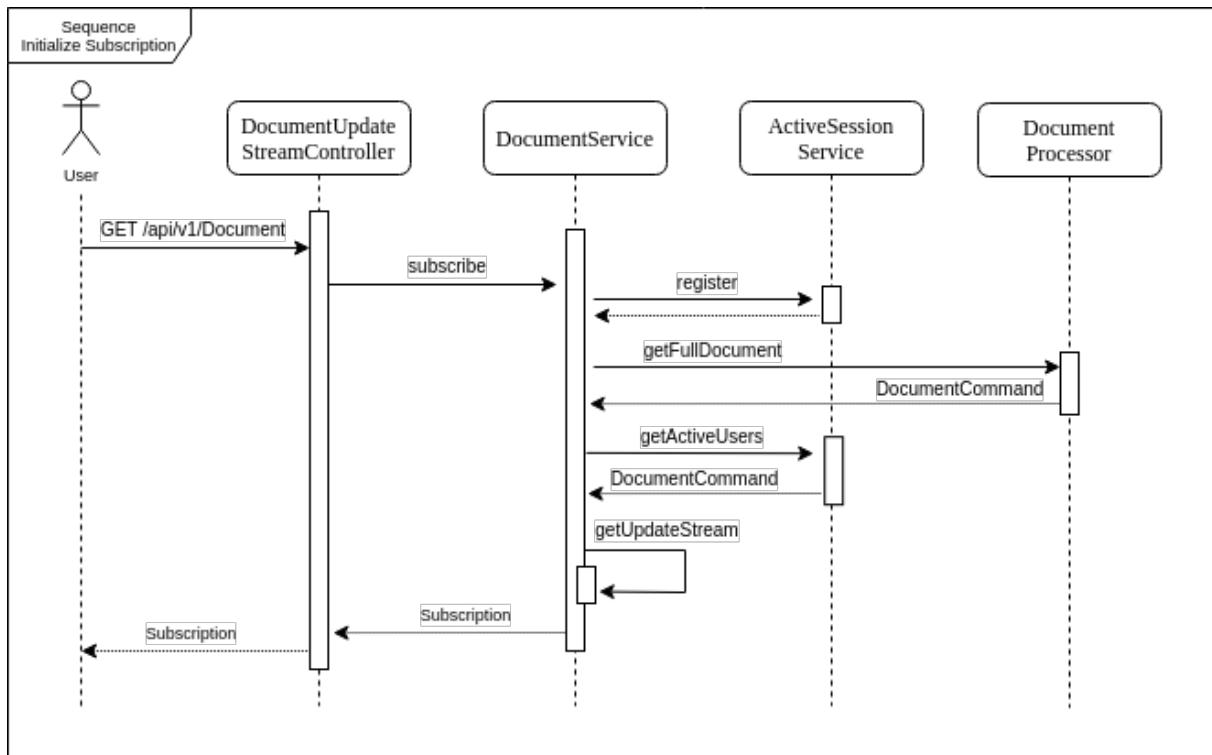


Abbildung 5.5: Sequenzdiagramm Subscription erstellen

### 5.4.2 DocumentCommand verarbeiten

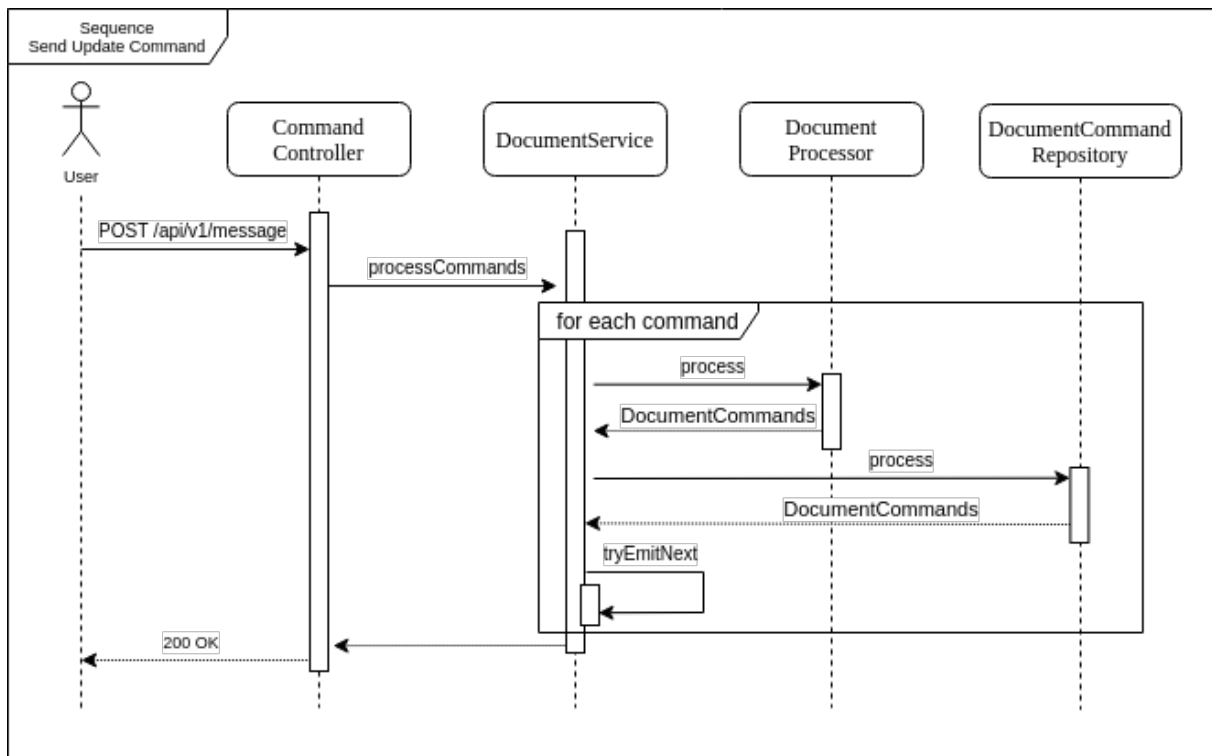


Abbildung 5.6: Sequenzdiagramm Command verarbeiten

## 5.5 Zustands- und Konfliktmanagement

Um sicherzustellen, dass ein Dokument auf allen Clients einen konsistenten Zustand hat, wird der Zustand des Dokuments in der Serverapplikation geführt. Änderungen von Clients müssen an den Server gesendet werden. Dieser wendet die Änderungen auf dem Dokument an und leitet die Änderungen an alle anderen Clients weiter. Während der Anwendung von Änderungen, ist es in der Verantwortung der Serverapplikation, sicherzustellen, dass das Dokument in einem Konsistenten Zustand bleibt. Wenn nötig, erstellt es dazu zusätzliche Änderungen und veröffentlicht diese ebenfalls an alle Clients.

Die entsprechende Fachlogik ist in den Klassen `DocumentService` und `DocumentProcessor` implementiert. Dabei ist die Klasse `DocumentProcessor` für die Zustandsverwaltung des Dokuments verantwortlich.

### 5.5.1 Grundsatz

Der `DocumentProcessor` hat zwei private Instanzvariablen, die für das Zustandsmanagement relevant sind. Die Variable **document** ist vom gleichnamigen Typ. Diese Document-Instanz stellt die "Source Of Truth" für den Zustand des Dokuments dar. Ein Document besteht im Wesentlichen aus einer Liste von Paragraphen. Diese Liste wird mit `synchronizedList(mutableListOfParagraphs())` initialisiert. Dadurch wird sichergestellt, dass der Zugriff für die Liste zwischen der Verarbeitung einzelner Commands synchronisiert ist. Die Variable **lock** hat den Typ `ReentrantLock`. Die Verarbeitung einiger DocumentCommands darf nicht parallel passieren, weil dadurch Konflikte ausgelöst werden können. Die Verarbeitung solcher DocumentCommands wird durch die Verwendung dieses `ReentrantLocks` gesperrt.

### 5.5.2 Zustandsänderungen

Alle Änderungen werden als Instanzen der Klasse `DocumentCommand` an den Server übermittelt. Nachfolgend wird beschrieben, welche Arten von DocumentCommands unterstützt sind, wie diese verarbeitet werden und wie mit möglichen Konflikten umgegangen wird.

Ein `DocumentCommand` mit Typ **INITIAL** stellt den vollständigen Zustand eines Dokuments dar. Er beinhaltet als Payload eine Liste der Paragraphen in diesem Dokument. INITIAL Commands werden im Backend generiert, um den vollständigen Zustand eines Dokuments zu veröffentlichen. Eingehende INITIAL Commands werden im `DocumentProcessor` nicht angewendet.

Ein `DocumentCommand` mit Typ **ADD\_PARAGRAPH** fügt einen neuen Abschnitt zum Dokument hinzu. Er beinhaltet als Payload einen einzelnen Paragraphen. Dieser Paragraph wird im `DocumentProcessor` deserialisiert und der Liste von Paragraphen im Dokument hinzugefügt. Es ist möglich, gleichzeitig zwei Commands eingehen, welche an derselben Stelle im Dokument einen Paragraphen einfügen möchten. Deshalb wird hier sichergestellt, dass die Ordinal-Nummern aller Paragraphen korrekt sind und keine Nummer doppelt vorkommt. Während diese Korrektur vorgenommen wird, dürfen keine anderen Änderungen möglich sein. Deshalb wird die Verarbeitung eines **ADD\_PARAGRAPH** Commands mit dem `ReentrantLock` versehen. Nach der Verarbeitung werden der **ADD\_PARAGRAPH** und **UPDATE\_PARAGRAPH\_ORDINALS** Command zurückgegeben, damit Sie veröffentlicht werden können.

Ein `DocumentCommand` mit Typ **REMOVE\_PARAGRAPH** entfernt einen Paragraphen aus dem Dokument. Er beinhaltet als Payload die `UUID`, des zu entfernenden Abschnitts. Bei der Verarbeitung wird der Abschnitt mit der gegebenen Id entfernt. Ist der Abschnitt bereits entfernt, wird kein Fehler geworfen. Nachdem ein Paragraph entfernt wurde, muss sichergestellt werden, dass es keine Lücke in den Ordinal Nummern der Paragraphen gibt. Deshalb wird auch hier sichergestellt, dass die Ordinal-Nummern aller Paragraphen korrekt sind. Anschliessend werden die **REMOVE\_PARAGRAPH** und **UPDATE\_PARAGRAPH\_ORDINALS** zurückgegeben. Um sicherzustellen, dass die Ordinal-Nummern korrekt gesetzt werden, ist auch diese Verarbeitung mit dem `ReentrantLock` abgeschlossen.

Ein DocumentCommand mit Typ **UPDATE\_PARAGRAPH** aktualisiert den Textinhalt eines Abschnitts. Er beinhaltet als Payload einen einzelnen Paragraphen. Bei der Verarbeitung wird der relevante Abschnitt im Dokument gefunden und dessen Inhalt überschrieben. Hier wird bewusst kein explizites Konfliktmanagement betrieben. Paragraphen dürfen nur bearbeitet werden, wenn der Benutzer den Paragraph für sich gesperrt hat. Da ein Paragraph immer nur von einem Benutzer gesperrt sein kann und Updates in derselben Reihenfolge wie sie geschehen eingehen, können diese Updates immer angewendet werden. Es ist möglich, dass sich das Sperren eines Paragraphen von zwei Benutzern überschneidet. Am Ende darf aber immer nur ein Benutzer den Paragraphen gesperrt haben. In diesem Fall ist es das gewünschte Verhalten, dass die Änderungen dieses Benutzers alle anderen Änderungen am selben Abschnitt überschreiben.

Ein DocumentCommand mit Typ **UPDATE\_PARAGRAPH\_ORDINALS** aktualisiert die Ordinal-Nummern von Abschnitten. Er beinhaltet als Payload eine Liste von Paragraphen. Bei der Verarbeitung dieses Commands werden die Ordinal-Nummern aller Abschnitte mit den Ordinal-Nummern aus der Payload überschrieben. Anschliessend wird sichergestellt, dass die Ordinal-Nummern aller Paragraphen korrekt sind und keine Nummer doppelt vorkommt. Es werden darauf der erhaltene Command und allfällige Commands zur Konfliktlösung zurückgegeben. Um sicherzustellen, dass die Ordinal-Nummern korrekt gesetzt werden, ist auch diese Verarbeitung mit dem ReentrantLock abgeschlossen.

Ein DocumentCommand mit Typ **UPDATE\_AUTHOR** aktualisiert den Namen eines Authors, der das Dokument bearbeitet. Er beinhaltet als Payload eine Author-Instanz. Der Name dieses Authors wird auf allen Abschnitten im Dokument aktualisiert. Anschliessend wird der Command zurückgegeben. Es wird hier kein explizites Konfliktmanagement betrieben, da ein Benutzer immer nur an genau einem Gerät arbeiten kann. Sollte derselbe Benutzer auf mehreren Clients verwendet werden und gleichzeitig den Namen ändern, können sich diese Änderungen überschreiben. In diesem Fall wird das zuletzt gesendete Update angewendet und veröffentlicht. Damit ist der Zustand auch bei Konflikten konsistent.

Ein DocumentCommand mit Typ **UPDATE\_LOCK** erlaubt es einen Abschnitt durch einen Benutzer zu ent-/sperren. Dies wird in den Clients verwendet, um sicherzustellen, dass nur ein Benutzer gleichzeitig an einem Paragraph arbeiten kann. Die Payload dieses Commands beinhaltet als Payload den Paragraphen, der gesperrt werden soll. Dieser Paragraph wird in der Liste von Paragraphen gefunden und durch setzen des `lockedBy` Attributs gesperrt. Ist auf der Payload kein `lockedBy` Attribut gesetzt, wird die Sperre entfernt. Dabei wird sichergestellt, dass eine Sperre nur durch den Benutzer der sie erstellt hat entfernt werden kann. Versucht ein anderer Benutzer, die Sperre aufzuheben, wird die Verarbeitung abgebrochen und ein Command welcher die Sperre zurücksetzt zurückgegeben. Damit sich das Sperren von Paragraphen zwischen Benutzern nicht überschneiden kann, ist die Verarbeitung dieses Commands mit dem ReentrantLock versehen.

Ein DocumentCommand mit Typ **ADD\_CLIENTS** teilt mit, dass ein neuer Bearbeiter am Dokument existiert. Dieser Command führt zu keiner Änderung am Dokument und wird im DocumentProcessor nicht verarbeitet. Er wird aber zurückgegeben, damit er an alle anderen Clients weitergegeben werden kann.

Ein DocumentCommand mit Typ **REMOVE\_CLIENT** teilt mit, dass die Verbindung eines Bearbeiters getrennt wurde. Bei der Verarbeitung dieses Commands werden alle Paragraphen, welche durch diesen Bearbeiter gesperrt waren entsperrt. Dadurch wird sichergestellt, dass Paragraphen nicht gesperrt sind wenn ein Benutzer den Client beendet oder die Verbindung abbricht.

### 5.5.3 Fehlerbehandlung

Throw and forget

## **6 Testing**

### **6.1 Frontend**

### **6.2 Backend**

### **6.3 End to End Test**

## **7 Ausblick**

## **8 Fazit**