

# Verteilte Systeme: Chat Applikation unter Einsatz einer Message-Oriented-Middleware

Anja Wolf, Marvin Staudt, Andreas Westhoff und Johannes Knippel

**Abstract**—Aufbau einer Chat Applikation unter Einsatz einer Message Oriented Middleware und deren Anwendung.

**Index Terms**—Verteilte Systeme, JMS, Wildfly, MOM, JavaEE, JPA, Kafka, Docker, Angular, GraphQL, ReST



## 1 EINLEITUNG

CHAT-Applikationen basieren in den meisten Anwendungsfällen auf speziellen Middleware Technologien, die auf verteilten Systemen aufgebaut und implementiert sind. Diese Studienarbeit beschreibt die Chat-Anwendung, die im Rahmen des Praktikums im Fach *Verteilte Systeme* im Wintersemester 2018/2019 bearbeitet wurde.

Für die Umsetzung der Arbeit sollen verschiedene Lösungsansätze im Umfeld der verteilten Systeme untersucht, erprobt und bewertet werden. Dabei dient eine einfache Chat-Applikation als Grundlage, um die Funktionsweise zu verstehen und durch deren Weiterentwicklung verteilte Systeme auf Basis von Message Oriented Middleware (MOM) in den Wissensstand übergehen zu lassen.

In den folgenden Kapiteln wird die Konzeption der Chat-Anwendung, deren genutzte Infrastruktur sowie die Umsetzung im Detail erklärt. Dabei wird auch auf die einzelnen Komponenten der Applikation sowie die Konfiguration der Serverschnittstellen eingegangen. Als abschließende Bewertung folgt ein Fazit.

22. Dezember, 2018

## 2 KONZEPTION

Zu entwickeln galt es ein verteiltes System auf Basis von Middleware Technologien, welches im Anschluss durch bestimmte Benchmarkzyklen analysiert werden soll. Genauer handelt es sich um spezielle MOM, die eine klare und strukturierte Methode der Kommunikation zwischen disparaten Software Entitäten zur Verfügung stellt. [1] Im Fokus der Entwicklung steht die Installation und die Inbetriebnahme der verwendeten Technologien, die Nutzung von Representational State Transfer (ReST), Message Queues, Topics,

GraphQL, Apache Kafka, Transaktionsverarbeitung sowie die Leistungsbewertung der entstandenen Applikation.

Die darzustellende Anwendung beinhaltet einen einfachen Chat-Prozess. Dieser setzt sich aus zwei Teilen zusammen. Einem Chat-Client, der es einem Benutzer ermöglicht über eine graphische Nutzer-Oberfläche mit anderen Chat-Beteiligten zu kommunizieren und einem Chat-Server, der sich um die Verwaltung der Chat-Nutzer und deren Nachrichten kümmert.

Möchte sich ein Benutzer am Server registrieren, verwendet er eine dafür implementierte Client-Anwendung. Ist er registriert beziehungsweise am System angemeldet, können Nachrichten von anderen bereits registrierten Benutzern empfangen und an diese verschickt werden. Der Server bestätigt jede Nachrichten-anfrage eines registrierten Benutzers (Clients). Ist ein Benutzer nicht angemeldet, so werden die Nachrichten auch nicht verarbeitet. Zur Auswertung und Datenhaltung werden Informationen zu den Nachrichten vom Server in dafür vorgesehene Datenbanken gespeichert. Eingehende Nachrichten werden in Verbindung mit den Benutzernamen und dessen genutzten Threads in einer hier benannten Trace-Datenbank gesichert. In einer zweiten separaten Count-Datenbank wird ein Zähler mit der Anzahl der Nachrichten pro Nutzernamen geführt. Aufgrund der Softwarearchitektur erstrecken sich manche Aktionen über verteilte Komponenten, die es über Transaktionen abzusichern gilt. Sollte eine Komponente, wie beispielsweise eine der beiden Datenbanken, ausfallen, so müssen alle Schritte der jeweiligen Transaktion zurückrollbar gehalten werden.

Die in den Datenbanken gespeicherten Informationen kön-

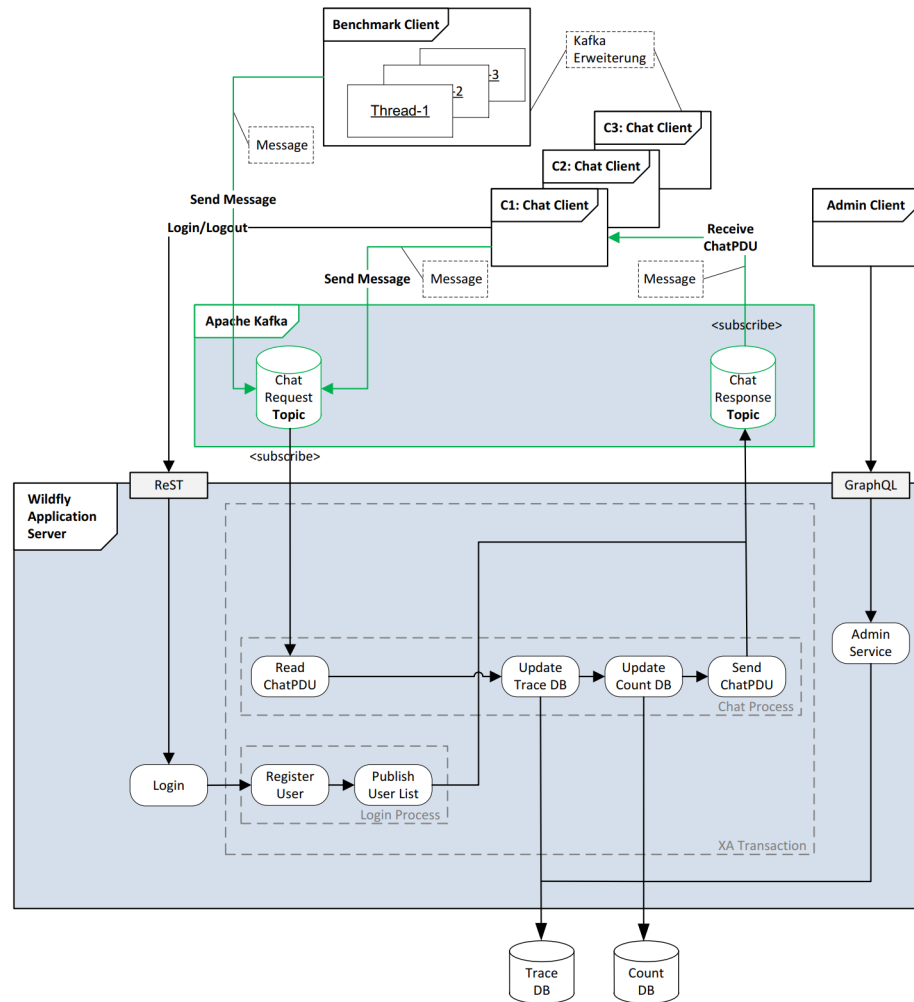


Fig. 1. Grobe Skizze der Architektur der Chat-Anwendung mit Erweiterung um Apache Kafka

nen über eine implementierte GraphQL<sup>1</sup> Schnittstelle ausgelesen werden.

Für Administratoren des Systems wurde eine Client Anwendung basierend auf dem Webapplikations-Framework Angular<sup>2</sup> entwickelt. Diese nutzt die GraphQL Schnittstelle, um Daten über die Chat-Anwendungen auszulesen und anzuzeigen.

Zur Bestimmung von Performanceergebnissen des entstehenden Systems wird ein Benchmarking-Client genutzt, der eine wählbare Anzahl an Anwendern simuliert und Nachrichten an den Server schickt. Dabei werden verschiedene Kennzahlen, wie beispielsweise die Dauer eines Roundtrips der Nachricht, erhoben.

### 3 INFRASTRUKTUR

#### 3.1 Github

Für ein gemeinsames Arbeiten am Quellcode wurde die Versionsverwaltungsplattform Github verwendet. Es wurden zwei Repositories für Server und Client angelegt. Für das Aufsetzen des Servers wurde ein neues Projekt erstellt, wohingegen für die Arbeit auf Client-Seite das bereits bestehende Projekt chatApplication erweitert wurde.

#### 3.2 Application Server Wildfly 13

Als Application Server wurde Wildfly 13.0.0.Final genutzt. Dieser stellt eine umfangreiche Auswahl an Systemen, wie z.B. *ActiveMQ* für Messaging oder *JNDI* für Naming zur Verfügung, sodass die serverseitige Abwicklung nahezu vollständig mit Bordmitteln abgewickelt werden kann.

1. <http://graphql.org/>

2. <https://angular.io/>

### 3.3 Apache Kafka

*Apache Kafka*<sup>3</sup> stellt neben *JMS* einen weiteren Message-Broker dar. Für die Erweiterung mit *Kafka* wird jedoch zusätzlich ein *Zookeeper*-Server benötigt, der zur Koordination der am Messaging beteiligten Clients und zur Verwaltung der Topics dient.

### 3.4 MariaDB und Docker

Um Nachrichten im Chatprozess zu speichern und zu protokollieren wird die Datenbank *MariaDB* verwendet. Um die Anforderungen eines verteilten Systems gerecht zu werden, werden die Datenbankinstanzen in einem Dockercontainer<sup>4</sup> betrieben. Da Docker im Gegensatz zu einer virtuellen Maschine das Host-Betriebssystem mitbenutzt, können ressourcensparend leichtgewichtige, isolierte Container zur Verfügung gestellt werden, die aber dennoch über ein eigenes Dateisystem und Netzwerk-Interface verfügen [6].

## 4 UMSETZUNG

### 4.1 Aufbau Server

Der Server besteht aus einem Maven-Projekt, das aus den Serverklassen über die Markierung in der POM als Web Archive ein Artefakt im Server baut. Dieses Artefakt beinhaltet Klassen zur Abwicklung der folgenden Prozesse:

- *Kafka- und JMS-Chat-Prozess*
- *ReST-Controller*
- *Datenbankdefinition und -verwaltung*
- *GraphQL*

### 4.2 JMS Konfiguration

Wildfly enthält, sofern es über die *standalone-full.xml*-Konfiguration gestartet wird, standardmäßig einen *Apache ActiveMQ Artemis*-Server als Message-Broker zur Verfügung. Dieser arbeitet mit *Queues* für Punkt-zu-Punkt-Kommunikation und *Topics*, die nach dem publish- and subscribe Prinzip arbeiten. Diese JMS-Destinationen können entweder im Wildfly-Management-Interface oder über die XML-Konfigurationsdatei erstellt werden und mit JNDI-Bindings intern sowie extern (mit dem Zusatz *exported* referenzierbar gemacht werden. Für die Chat-Anfragen an den

Server wird eine *chatQueue* verwendet, an die alle Clients ihre Chat-Anfragen richten. Die erfolgreiche Bearbeitung der Nachricht wird dem Client bestätigt, indem der Server eine Antwort in der *response-Queue* für den anfragenden Client platziert. Des Weiteren wird die Nachricht im *responseTopic* veröffentlicht, das jeder Client beim Log-in abonniert.

### 4.3 Kafka Konfiguration

*Apache Kafka* stellt wie *JMS* eine Message-Broker Funktionalität zur Verfügung, ist jedoch nicht in Wildfly enthalten sondern wird in einem eigenen Server abgebildet. Im Gegensatz zu *JMS* gibt es bei *Kafka* nur Topics. Analog zu *JMS* wird die Nachricht vom Client an ein in diesem Fall *Request-Topic* gesendet. Da der *Kafka*-Server außerhalb von Wildfly läuft, muss der Wildfly-Server den Request-Topic abonnieren um die eingehenden Nachrichten abzuholen. Nach der Abwicklung des Chat-Prozesses sendet Wildfly die Nachricht an das *Response-Topic* von *Kafka*, das wiederum von allen Chat-Clients beim Login abonniert wird. Die Verbindung zum *Kafka*-Server wird über einen *KafkaConsumer* hergestellt, in dessen Eigenschaften die IP-Adresse des *Kafka*-Servers, die Consumer-Group (in diesem Anwendungsfall stellt jeder einzelne Client sowie der Wildfly-Server eine eigene Consumer-Group dar) sowie Pfade zu (De-)Serializern für die Serialisierung von Nachrichten-Objekten hinterlegt werden. Für das Versenden der Chat-Nachrichten reicht bei *Kafka* eine Implementierung von *Serializable* nicht aus, es muss für die *ChatMessage* eine eigene Serializer- und Deserializerklasse implementiert werden, die mithilfe eines *ObjectMappers* das Object in einen Bytestream und zurückwandelt.

### 4.4 Login über ReST

Der Login bzw. Logout Prozess der einzelnen Chat User wurde mithilfe einer ReST-Schnittstelle implementiert. Zur Realisierung dieser wurde die Java API for ReSTful Webservices (JAX-RS) genutzt. Über entsprechende Annotationen in der Klasse *RestController* erfolgt die Zuordnung der jeweiligen Java Methoden zu den HTTP Methoden.

GET *rest/users/current* users  
Liefert alle eingeloggten User im JSON-Format

POST *rest/users/login/{username}*  
Meldet einen User mit einem gewünschten Username an

3. <https://kafka.apache.org/>

4. <https://www.docker.com/>

```
DELETE rest/users/logout/{username}
```

Meldet einen User ab

Neben Login und Logout, können über einen GET Request auch alle eingeloggten User geliefert werden. Dies ermöglicht es im Chat Prozess eine Liste mit allen verfügbaren Chat Nutzern zu generieren. Um diese immer aktuell zu halten, wird der Request in einem eigenen Thread jede Sekunde verschickt (vgl. Abbildung 2).

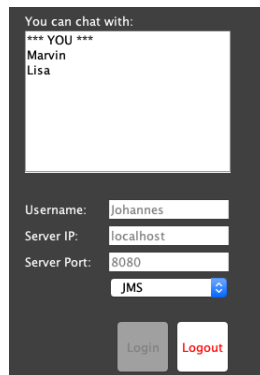


Fig. 2. Chat User Liste ClientGUI

## 4.5 Chat Prozess

### 4.5.1 Bearbeitung der ChatMessage

Als Nachricht wird in Anlehnung an die *ChatPDU* aus der Chat-Vorlage ein *ChatMessage*-Objekt verwendet. Dieses enthält neben der eigentlichen Nachricht und dem Benutzernamen den Client-Thread, die Art des Übertragungswegs (*JMS* oder *Kafka*), sowie einen Zeitstempel für die spätere Ermittlung der Round Trip Time. Außerdem implementiert die Klasse das *Serializable*-Interface, um über *JMS* als serialisiertes Objekt versendet werden zu können.

### 4.5.2 Chat Prozess mit JMS

Bei der *JMS*-Variante erfolgt die Initiierung des Chat-Prozesses über eine *Message Driven Bean*. Diese ist entsprechend mit der Annotation *@MessageDriven* versehen und so konfiguriert, dass der Chat-Prozess bei eingehenden Nachrichten in der *chatQueue* angestoßen wird. Des Weiteren wird für die Erzeugung des Producers für das Versenden der Antwort an das *responseTopic* ein *JMS*-Kontext injiziert, sowie die über *@Resource*- und *@EJB*-Annotationen die *JMS*-Destinationen sowie die Datenbankinterfaces bereitgestellt. Nach erfolgreicher Verarbeitung wird die Nachricht im *responseTopic* veröffentlicht, welches von allen Clients abonniert ist.

### 4.5.3 Chat Prozess mit Kafka

Da die Nachrichten bei *Kafka* aus einem externen Topic abgeholt werden müssen, wird beim der *Kafka*-Chat-Prozess beim Einloggen des ersten Clients initiiert. Dabei wird das *requestTopic* von *Kafka* vom Wildfly-Server abonniert und hört ab diesem Zeitpunkt auf Nachrichten-Anfragen. Zum veröffentlichen der Nachricht an das *responseTopic* wird analog zur Client-Anfrage ein *Kafka-Producer* erstellt, der die Nachricht nach erfolgreicher Verarbeitung im Server veröffentlicht.

### 4.5.4 Persistieren der Informationen in den Datenbanken Trace und Count

Während des *Chat Process* werden mit Hilfe der beiden Datenbankprozesse **Count** und **Trace** die benötigten Informationen zu den Nachrichten der *chatuser* in die jeweilige Datenbank gespeichert und protokolliert. Hierfür werden zwei Datenbanksysteme benötigt, welche unabhängig voneinander ausgeführt werden können. Um dies zu gewährleisten wurde jeweils eine Datenbank in einem Docker-Container ausgeführt. Zum einen persistiert die Datenbank **Trace** alle gewünschten Informationen zu einer Chatnachricht. Die **Count** Datenbank dient zum ermitteln der Anzahl der versendeten Nachrichten eines *chatusers*. Dementsprechend wird sobald ein *chatuser* die erste Nachricht versendet ein Eintrag erstellt. Bei jeder weiteren Nachricht wird dieser automatisch mit einem Zähler inkrementiert.

Die Count-Datenbankinstanz erzeugt zur Laufzeit eine Tabelle mit dem Namen *countdata*. Die Struktur besteht dabei aus den folgenden fünf Attributen: *ID*, *username*, *clientthread*, *serverthread* und *message*. (Vgl. Tabelle 1)

Die Trace-Datenbankinstanz erzeugt zur Laufzeit eine Tabelle mit dem Namen *trace*. Die Struktur besteht dabei aus den folgenden drei Attributen: *ID*, *username* und *counting*. (Vgl. Tabelle 2)

TABLE 1  
Struktur der Count-Tabelle.

Attribut	Funktion
ID	Eindeutige ID
username	Nutzername
counting	Anzahl der gesendeten Nachrichten

Um im ersten Schritt einen Zugriff von Wildfly auf die in den beiden Docker-Containern ausgeführten Datenbanken zu erhalten muss die Konfigurationsdatei des Applikations-Servers *standalone.xml* um die beiden Datenbankinstanzen

TABLE 2  
Struktur der Trace-Tabelle.

Attribut	Funktion
ID	Eindeutige ID
username	Nutzername
clientthread	Identifikation des clients
serverthread	Identifikation des Servers
message	versendete Nachricht

erweitert werden. Hierbei werden zwei *XA-Datasources* eingetragen. Diese Art von Datenbanken erlaubt es mehrere *Datasources* gleichzeitig innerhalb einer Transaktion verwenden zu können. Folgende Informationen wurden hierbei hinterlegt: *IP-Adresse*, *Port*, *User* und *Passwort*. Wichtig ist hierbei die Verwendung der richtigen Syntax der jeweiligen wildfly-Version, da andernfalls die Verbindung zwischen Applikationsserver und Datenbank nicht erfolgreich hergestellt werden kann.

Um nun im Folgenden die Daten in die jeweiligen Tabellen persistieren zu können wurde die *Java Persistence API (JPA)* verwendet. Dies vereinfacht den Prozess der Zuordnung und Auslieferung der Objekte zu den richtigen Einträgen in den Datenbankinstanzen. Dabei bilden die zwei Persistence Entities der Klassen **Trace.java** und **Count.java** aus dem Package *databases* die Tabellen *countdata* und *trace* ab. Die Objekte der Klassen werden automatisch erkannt und die Struktur der Tabellen festgelegt.

In dieser Studienarbeit wurde der Ansatz der *Enterprise JavaBean (EJB)* mit einer container-verwalteten Transaktion verwendet. Dementsprechend wurden beide Datenbanken als *persistence-unit* in dem *persistence.xml*-file angegeben. Weiterhin wurden hier die IP-Adressen, welche *Docker* vergeben hat, zusammen mit den jeweiligen Ports hinterlegt. Zusätzlich wurde der *User* und das *Passwort* angegeben, um einen Zugang zur Datenbank zu ermöglichen. Wichtig hierbei ist auch die Angabe der Klasse, welche die *Entity* auf eine die jeweilige Datenbanktabelle widerspiegeln soll.

Mit Hilfe von Hibernate, welches ebenfalls in der *persistence.xml* mit den entsprechenden Eigenschaften definiert wurde, wird die Schnittstelle für den Zugriff auf die Datenbanken festgelegt. Dadurch wird es möglich, Datenbankverbindungen aufzubauen und diese entsprechend zu verwalten. Dabei werden *Structured Query Language (SQL)* Abfragen weitergeleitet und nach Ausführung dem Applikationsserver wieder zur Verfügung gestellt.

In dieser Studienarbeit wurden zwei **JPA-**

Implementierungen eingebunden. Dementsprechend werden für beide zur Laufzeit jeweils automatisch ein *Entity-Manager* erstellt. Dieser dient als Komponente zur erfolgreichen Persistierung von Daten in die Datenbank zur Verfügung. Daraus ergeben sich Methoden, wie z. B. das Speichern, das Finden oder Bearbeiten bereits gespeicherter Daten oder das Löschen eines Datensatzes. Dies wird automatisch unter Verwendung der richtigen Annotationen zur Laufzeit durchgeführt.

Dementsprechend wird es ermöglicht, eine einheitliche Schnittstelle für den *ChatProcess* zur Verfügung zu stellen. Mit den Methoden *updateCount(Count count)* und *create(Trace trace)*, welche der *ChatProcess* aufruft, werden Daten in die beiden Datenbankinstanzen gespeichert bzw. aktualisiert.

Auch werden hierbei die Methoden zum Abfragen und zum Zurücksetzen der Datenbanken für den Admin Client (vgl. Kapitel 4.10) bereitgestellt. Die beiden Methoden *List<Count> findAll()* und *List<Trace> findAll()* geben jeweils den gesamten Inhalt der in den Datenbanken gespeicherten Informationen aus. Die Methode *clear()* ermöglicht das separate Löschen aller Daten aus den beiden Datenbanken.

Im Folgenden Kapitel 4.6 werden die Transaktionsverwaltung und der Zusammenhang des Persistieren dieser Informationen in die beiden Datenbankinstanzen genauer erläutert.

## 4.6 Transaktionsverwaltung

Um eine übergreifende XA-Transaktion unter Einbeziehung der Zugriffe auf die JMS-Queue, das Topic sowie auf die Datenbanken zu realisieren übernimmt das *Transactions subsystem* des Wildfly Application Servers die komplette Transaktionsverwaltung. Die beiden MariaDB-Container, welche in Docker ausgeführt werden, unterstützen den Prozess der XA-Transaktionen. Auch wurden die beiden Datenbanken als *XA-Datasources* in der Konfigurationsdatei *standalone.xml* des Application Servers definiert.

Dementsprechend wird ein Transaktionsmanager mit dem *TransactionsManagementType.CONTAINER* vorgeschaltet. Das Starten, Zurückrollen oder Abschließen einer Transaktion wird direkt unter dessen Verwaltung gestellt. Hierfür sind die Annotationen *@Transactional* vor die jeweiligen Methoden bzw. Klassen gesetzt.

Ein aktives Eingreifen ist aus diesem Grund nicht notwendig. Wird eine Methode ohne Komplikationen durchlaufen, schließt der Transaktionsmanager die Transaktion automatisch mit *COMMIT* ab. Wird jedoch ein Fehler

geworfen, werden alle darin enthaltenen Methoden mit einem *ROLLBACK* zurückgerollt.

Beispielsweise wird beim unerwarteten Abbruch während des Schreibvorgangs von Daten in einer der beiden Datenbanken eine *Exception* nötig, die automatisch alle Änderungen mit einem *ROLLBACK* rückgängig macht. Werden zum Beispiel erfolgreich Daten in die erste Datenbank geschrieben und ein unerwarteter Fehler tritt beim Einfügen der Daten in die zweite Datenbank auf, muss mittels einer *Exception* durch den Transaktionsmanager ein Zurückrollen der beiden Schreibvorgänge durchgeführt werden. Im Anschluss sollte ein erneuter Zustellversuch dieser Nachricht die Folge sein.

Auch ein aktives Auslösen eines Rollbacks im *ChatProcess* ist mit der Methode *setRollbackOnly()* des *MessageDrivenContext* der Message Driven Bean im Falle einer *JMSException* möglich.

Im Falle eines Sendeversuchs einer *Message*, welche von einem nicht eingeloggten *user* versendet wird, ist diese *Exception* allerdings nicht notwendig. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in der Klasse *ChatProcess* im Vorfeld überprüft wird, ob der *user* eingeloggt ist. Ist dieser nicht eingeloggt, wird kein Sendeprozess durchgeführt und somit findet kein Schreiben in die Datenbank statt.

## 4.7 Aufbau Client

Für das Chatten über JMS bzw. Kafka wurde die bereits vorhandene *chatApplication* in ein Maven Projekt umgewandelt und um eine neue Chatoberfläche (*ClientGUI*) erweitert (vgl. Abbildung 3). Diese kann mithilfe der Klasse *GuiRunner* in mehreren Threads gestartet werden. So kann der Chat Prozess zwischen verschiedenen Usern simuliert werden.

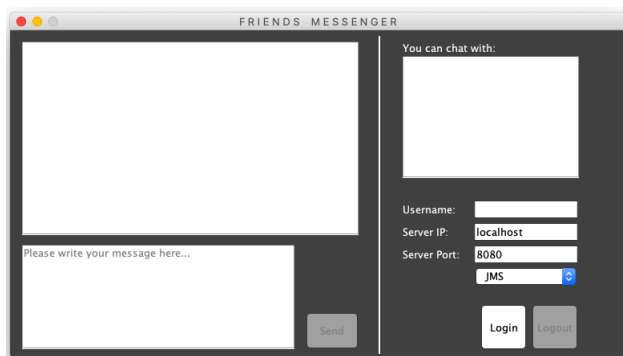


Fig. 3. ClientGUI

Im *ClientController* sind alle wichtigen Funktionalitäten der neuen Chat Application implementiert. Sowohl der

Login bzw. Logout über ReST, als auch das Vorbereiten von Connection Factory, Queue für den Nachrichtenversand und Topic für den Nachrichtenempfang sind hier definiert.

Beim Nachrichtenversand wird aus dem eingegebenen Text im Chatfenster ein *ChatMessage*-Objekt generiert. Diese enthält neben Nachrichtentext auch Usernamen, Timestamp, Client Thread sowie den genutzten Message Broker (*JMS* oder *Kafka*). Über einen JMS Producer wird die *ChatMessage* im JSON-Format an die Queue versendet und vom Server verarbeitet (vgl. Kapitel 4.5).

In der *ClientGUI* wird außerdem ein JMS-Consumer im entsprechenden JMSContext für das Topic initialisiert. Dieser beobachtet in einem eigenen Thread das Topic und empfängt alle eingegangenen Nachrichten. Diese werden wiederum auf der Chatoberfläche abgebildet, sobald ein User eingeloggt ist.

Es wurde außerdem sichergestellt, dass ein User zunächst eingeloggt sein muss, um das Chat Fenster zu aktivieren und alle verfügbaren Chat User angezeigt zu bekommen. Für das Anzeigen der Nutzer wurde ein eigener Thread implementiert. Dieser läuft wie der Login bzw. Logout ebenfalls über ReST und ist in Kapitel 4.4 detaillierter beschrieben.

Zusätzlich ist gewährleistet, dass keine leeren Nachrichten an die Queue verschickt werden können. Mit dem Schließen des Chat Fensters wird der User automatisch ausgeloggt. Dies ist natürlich auch mit dem Klicken des Logout Buttons möglich.

## 4.8 Benchmark-Client

Der Benchmarking-Client dient zur Simulation eines Chat-Szenarios. Dabei kann hinsichtlich der Performance beim Versand von Chat-Nachrichten getestet werden. Diese wird anhand der Round Trip Time (RTT) einer Nachricht gemessen. Diese misst die Zeit für einen Chat-Request mit vollständiger Bearbeitung (vgl. Abbildung 4).

Grundlage für die Performance-Tests ist das bereits vorhandene, Java-basierte Benchmarking-Framework. Dieses wurde um eine JMS sowie eine Apache Kafka Anbindung erweitert um Leistungstest für das Versenden von Nachrichten über die beiden Message Broker durchzuführen.

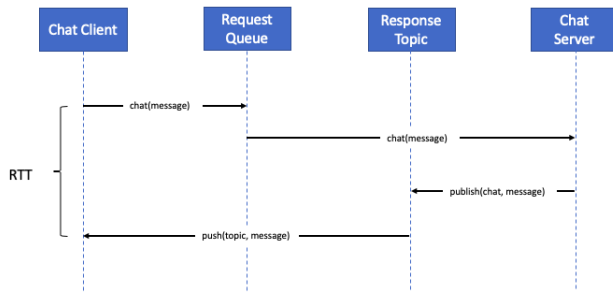


Fig. 4. Definition der Round Trip Time

Damit dies möglich ist, mussten mehrere Änderungen im Quellcode vorgenommen werden. Zunächst wurden zwei zusätzliche ImplementationTypes, *JMSImplementation* und *KafkaImplementation*, definiert. Desweiteren wurden die Klasse *BenchmarkingClientFactory* um JMS sowie Kafka spezifische Parameter erweitert.

Für die JMS Implementierung wurden außerdem die Klassen *JmsChatClient*, *JmsSimpleMessageListenerThread* sowie *JmsBenchmarkingClientImpl* neu implementiert. Aufgrund kurzfristiger Änderungen in der Teamstruktur wurde für das Kafka Benchmarking eine eigene vereinfachte aber dennoch voll funktionstüchtige Benchmarking Methode entwickelt. Diese beinhaltet die Klassen *KafkaChatClient*, *KafkaReceiver* und *Test*.

Die Anzahl der Clients, sowie die Menge an Nachrichten bzw. deren Byte-Größe kann verändert werden. Diese Einstellungen können für TCP in der Benutzeroberfläche, für JMS in der Klasse *BenchmarkUserInterfaceParameters* und für Kafka in den Klassen *KafkaReceiver* und *Test* angepasst werden.

Vor der Durchführung des Leistungstest wurde die Anzahl der Nachrichten konstant auf 100 je Client mit einer Größe von je 50 Byte festgelegt. Die Anzahl der Clients wurde in 10er Schritten verändert. Der erste Test wurde mit 10 Clients durchgeführt. Danach wurde bis zu einem Maximalwert von 50 Clients erhöht. Jeder der Clients loggt sich dabei ein, versendet die definierte Anzahl an Nachrichten, empfängt Nachrichten der anderen Clients und loggt sich wieder aus.

Das Benchmarking wurde in zwei verschiedenen Ausprägungen durchgeführt. Sowohl JMS als auch Kafka wurden hinsichtlich ihrer Performance getestet. Für JMS wurde der Test mit der Klasse *BenchmarkingUserInterfaceSimulation* gestartet, für Kafka mit der Klasse *Test*. Die Ergebnisse des Benchmarks werden in der Konsole ausgegeben. Eine Anbindung an das bereits vorhandene User Interface hat nicht

stattgefunden. Die Ergebnisse der beiden Testdurchläufe können Tabelle 3 entnommen werden.

TABLE 3  
Ergebnisse (RTT's) der beiden Benchmark-Läufe

Anzahl Clients	JMS [in ms]	Kafka [in ms]
10	168	36.024
20	189	49.759
30	222	67.164
40	227	90.335
50	322	10.3483

Im ersten Durchlauf des Leistungstest wurden die durchschnittliche RTT von JMS gemessen. Bei einer linear ansteigenden Anzahl an Clients steigt auch diese linear an (vgl. Abbildung 5).

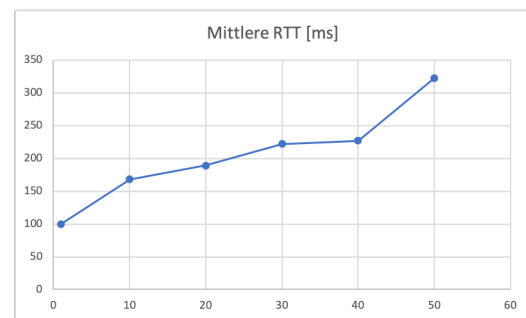


Fig. 5. Benchmark JMS

Beim zweiten Durchlauf des Benchmarks wurde die durchschnittliche RTT von Kafka gemessen. Auch hier steigt diese linear mit einer linear ansteigenden Anzahl an Clients (vgl. Abbildung 6).

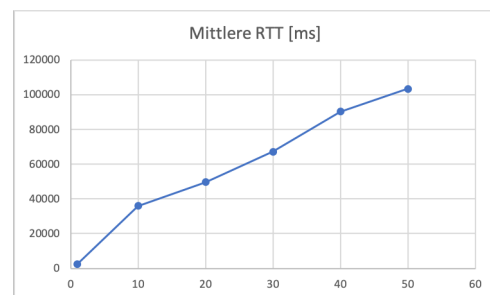


Fig. 6. Benchmark Kafka

Vergleicht man beide Testdurchläufe wird deutlich, dass sich durch die Umstellung von JMS auf Kafka die RTT des Chat Prozesses erhöht. Während bei JMS Nachrichten selbst bei einer Anzahl an 50 Clients Nachrichten noch unter einer Sekunde verschickt werden, sind die RTT Zeiten bei



Kafka selbst bei einer geringen Anzahl an Clients bereits im höheren Sekundenbereich.

Aus den Testergebnissen lässt sich Folgendes schließen: JMS verschickt Nachrichten um ein vielfaches schneller als Kafka. Desweiteren steigt mit der Anzahl der angemeldeten Chat Clients und zu versendenden Nachrichten bei beiden Message-Brokern die RTT einer einzelnen Chat Nachricht.

## 4.9 GraphQL

Im Folgenden Abschnitt wird die GraphQL-Schnittstelle und die Vorgehensweise der Implementierung in dieser Studienarbeit dargestellt. Weiterhin werden mittels eines Vergleichs die Vor- und Nachteile von *ReST* und *GraphQL* diskutiert. Abschließend werden die aufgetretenen Herausforderungen in diesem Projekt angeführt.

### 4.9.1 Merkmale

*GraphQL* bietet mit Hilfe eines neuen API Standards eine effiziente und leistungsfähige Alternative zu *ReST* an. *GraphQL* ist eine Abfragesprache (*Query Language*), welche über die API angesprochen werden kann. Dabei ermöglicht es das Ausführen von Abfragen mit Hilfe eines Typsystems, welches im Vorfeld definiert wurde, zur Laufzeit des Servers. Zusätzlich stellt *GraphQL* Spezifikationen und Werkzeuge, welche lediglich über **einen** HTTP-Endpunkt angesprochen werden, zur Verfügung. [2]

Die im Folgenden beschriebenen zwei Schritte dienen der Erklärung des Grundkonzepts, welches hinter *GraphQL* steht, am Beispiel der Implementierung in diesem Projekt.

1. Da *GraphQL* ein eigenes Typsystem hat, welches das Schema der API definiert, muss dieses im ersten Schritt festgelegt werden. Hierfür wird die *Schema Definition Language (SDL)* verwendet. Hier ein Beispiel, welches im Rahmen dieser Studienarbeit angewendet wurde, um den einfachen Typ *Trace* zu definieren.

```
type query {
  allTrace: [TraceTO]
  allCount: [CountTO]
}

type TraceTO {
  id: ID!
  username: String
  clientthread: String
  message: String
  serverthread: String
}
```

```
}
```

Ein *GraphQL-Service* wird erstellt, indem Typen und Felder für diesen Typen definiert werden, um im Anschluss für jedes Feld bzw. für jeden Typen Funktionen festlegen zu können.

2. Der *GraphQL-Service* kann nun mit der folgenden Query vom Client ausgeführt werden. [3]

```
query = {
  allTrace {
    id
    username
    clientthread
    message
    serverthread
  }
}
```

Dabei kann der Client direkt festlegen welche Attribute ausgegeben werden sollen bzw. entsprechende auch weglassen. Es müssen dementsprechend nicht alle Attribute, welche im zuvor festgelegten Schema definiert wurden, auch wieder abgerufen werden. Die hinterlegte Methode zu dieser Abfrage wird in dem Mapper-Repository der Klasse *TraceMRepository* mit der Methode *public List<TraceMapper> findAll()* definiert. Diese Methode wird in der Klasse *Query* mit der folgenden Methode aufgerufen und ausgeführt. [3]

```
public List<TraceMapper> findAll() {
  return TraceMRepository.findAll();
}
```

Der Server gibt die angefragten Daten im Anschluss als JSON-Objekt wie folgt zurück.

```
{
  "data": {
    "allTrace": [
      {
        "id": "1",
        "username": "Marvin",
        "clientthread":
          "Thread[AWT-EventQueue-0,6,main]",
        "message": "Hallo, wie geht's?",
        "serverthread": "JMS"
      }
    ]
  }
}
```



#### 4.9.2 Die implementierte GraphQL-Schnittstelle

Die im Zuge dieser Studienarbeit implementierte *GraphQL-Schnittstelle* ist auf die Bibliothek *com.graphql-java* in der Version 3.0.0 aufgebaut. Die Bibliothek ist in der *pom.xml*-Datei des Maven-Projekts hinterlegt. Um einen GraphQL Endpunkt mit der folgenden URL erreichbar zu machen wurde eine Klasse mit dem Namen *GraphQLEndpoint* im Package *graphql* erstellt. Diese erweitert die Klasse *SimpleGraphQLServlet*.

`localhost:8080/server-1.0-SNAPSHOT/graphql`

Diese Klasse beschreibt von welchem Schema dieser *GraphQL-Service* definiert wird. Das Schema hierzu muss im folgenden Verzeichnis hinterlegt werden.

`chat/server/src/main/resources/schema.graphqls`

Das Schema wird einführend wie folgt definiert:

```
schema {
  query: Query
  mutation: Mutation
}
```

In der Klasse *Query* werden die Methoden definiert, die alle Daten aus den beiden Datenbanken *Count* und *Trace* ausgeben. In der Klasse *Mutation* werden die Methoden definiert, welche der Admin-Client im Anschluss ausführen kann, um die beiden Datenbanken zu entleeren. *Query* und *Mutation* müssen beide jeweils im Schema *schema.graphqls* als Typen definiert werden. Im Anschluss müssen die jeweiligen Methoden in den beiden Klassen definiert werden.

In diesen Methoden wurde die gesamte Logik der Abfrage bzw. das Manipulieren der Daten hinterlegt. Die beiden *GET-Methoden*, die alle Daten aus den Datenbanken ausgegeben werden als *GET-Request* auf den Server abgesetzt. Die beiden Methoden, welche zum Löschen der Datenbanken aufgerufen werden können, wurden in der Klasse *Mutation* definiert. Dabei muss ein *POST-Request* abgesetzt werden. Zusätzlich wird ein **JSON-Body** mit dem folgenden Inhalt übergeben.

```
{"query": "mutation{clearCount}"}
```

Der abgebildete *JSON-Body* entleert die *Count-Datenbank*. Als Rückmeldung wird ein *Boolean-Wert* vom Applikationsserver zurückgegeben. War das Zurücksetzen der Datenbank erfolgreich wird *true* ausgegeben. Das Vorgehen für die *Trace-Datenbank* ist identisch.

#### Herausforderungen im Laufe der Implementierung:

- Sehr wichtig bei der Implementierung einer *GraphQL-Schnittstelle* ist es Typen, Felder und Methoden strikt so zu benennen, wie es in der Datei *schema.graphqls* definiert wurde. Andernfalls werden diese nicht erkannt und es wird eine Exception beim Abfragen geworfen.
- Fehlermeldungen werden bei *GraphQL* nicht wie bei *ReST* mittels HTTP-Statuscodes ausgegeben. Tritt eine Exception auf, wird diese im Body zurückgegeben.
- Die bereits integrierten *JPA-Klassen*, welche zur Persistierung der Daten in die Datenbanken benötigt werden, konnten durch den *GraphQL-Endpunkt* in unserem Fall nicht mit der Annotation *@EJB* angesprochen werden. Daher mussten zusätzlich *Mapper-Klassen* für *Count* und *Trace* implementiert werden. Die beiden Mapper stellten dementsprechend die Schnittstelle zu den Datenbanken und *GraphQL*, um einen Datenaustausch zu ermöglichen.

#### 4.9.3 Unterschiede zu ReST

**ReST** ist ein Architekturkonzept für netzwerkbasierte Software und gilt als Bindeglied, um eine Kommunikation zwischen Client und Server zu ermöglichen. Der Fokus liegt dabei darauf, eine *API* über längere Zeit "haltbar" zu machen, anstatt die Leistung hier zu optimieren. Ziel dieser Architektur ist es, eine vereinfachte Architektur der entkoppelten Schnittstelle zu ermöglichen und eine erhöhte Visibilität der Interaktionen zu erreichen. Darunter leidet selbstverständlich die Effizienz, da Informationen lediglich in einem standardisierten Format abgerufen werden können und nicht auf die speziellen Bedürfnisse angepasst werden können. [4]

**GraphQL** ist im Gegensatz dazu eine Abfragesprache, eine Spezifikation und eine Sammlung von Tools, die über einen **einzigen** Endpunkt mittels *HTTP* ausgeführt werden können. Der große Fokus liegt hierbei auf der Optimierung von Leistung und Flexibilität.

Ein Grundprinzip von **ReST** beruht sich darauf, dass einheitliche Schnittstellen der Protokolle, wie z. B. *HTTP-Inhaltstypen* oder *Statuscodes*, verwendet werden. **GraphQL** definiert hingegen seine eigenen Konventionen. *GraphQL* gibt beispielsweise zu **jeder** Anfrage den Response Statuscode *200 OK* zurück. *ReST* verwendet meist den *HTTP Response Status*. Hier wird lediglich bei erfolgreicher Bearbeitung der Anfrage der Statuscode *200* zurückgegeben.

Andernfalls kann zum Beispiel auch der Status-Code 400 *Bad Request* oder 500 *Internal Server Error* zurückgegeben werden. [4]

Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass bei GraphQL zu Beginn ein Schema definiert werden muss, welches nach den jeweiligen Bedürfnissen direkt angepasst werden kann. Dieses Schema definiert die Art der Daten, welche bei client-seitiger Abfrage ausgegeben werden. Dementsprechend ist die gegenseitige Unabhängigkeit des Servers und des Clients sichergestellt.

Zusammenfassend kann nicht ohne eine Bedarfsanalyse des jeweiligen Projektes zu einer der beiden Technologien geraten werden. GraphQL kann einige Schwachstellen von ReST beheben, allerdings müssen die Anforderungen der Anwendung genau geprüft werden, um eine endgültige Aussage treffen zu können. Dementsprechend kann nicht pauschal gesagt werden, welche der beiden Technologien bevorzugt werden soll. [5]

#### 4.10 Admin-Client

Um eine Web-Anbindung zu illustrieren sollte im Rahmen dieser Studienarbeit ein Admin-Client implementiert werden. Dabei war die Art der Implementierung nicht maßgeblich vorgegeben, lediglich dass ein aktuelles Webapplikations-Framework verwendet wird.

Für die Implementierung der Admin Anwendung wurde das auf TypeScript- und komponentenbasierte Framework Angular in der Version 7 verwendet. Die Anwendung dient der administrativen Verwaltung der Daten des Chats und zeigt Details zu den im Server gespeicherten Statistiken an. Sie ist direkt an die GraphQL-Schnittstelle des Chat-Servers angebunden und verwaltet Daten aus den Datenbanken Trace und Count sowie die Chat-User Daten. Zudem können über die Anwendung die verschiedenen Daten aus den Datenbanken gelöscht werden.

Die Angular-Anwendung besteht aus vier verschiedenen Komponenten, die jeweils über einen eigenen Link, im Angularjargon auch Routen genannt, erreichbar sind. Für eine einfachere Bedienbarkeit wurde eine übersichtliche Headerzeile implementiert, die den Titel, ein Suchfeld und den Administrator als Profil anzeigt. Für eine einfache und schnelle Navigation zwischen den Komponenten wurde eine faltbare Sidebar implementiert, die die vier Komponenten übersichtlich mit Icons am rechten Bildschirmrand anzeigt.

Die Dashboard-Komponente stellt die Willkommensseite für die Anwendung dar (siehe Abbildung 7). Über

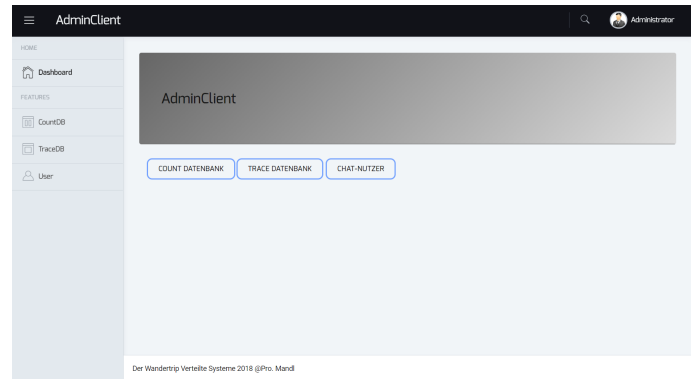


Fig. 7. Startseite/Dashboard des Admin-Clients.

die Willkommens- beziehungsweise Startseite gelangt man durch Button zu den anderen Komponenten der Anwendung. Die CountDB-Komponente ist unter der Route `/countdb` zu erreichen. Sie zeigt eine Auflistung aller Zähler-Einträge pro Chat-User an. Die TraceDB-Komponente wird über die Route `/tracedb` angesprochen. Diese veranschaulicht die Trace-Einträge für jede gesendete Nachricht in Tabellenform. Die Chat-User-Komponente erlaubt die Verwaltung von eingeloggten Nutzern. Sie ist über die Route `/user` erreichbar. Sollte ein ungültiger Link im Browser eingefügt werden, so gelangt man automatisch zurück zum Dashboard.

Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten näher beschrieben sowie die Verbindung zur GraphQL Schnittstelle erläutert.

##### 4.10.1 Count-Administration

Im Reiter der Count-Administration kann die Anwendung alle Einträge des Zählers für alle ausgeführten Chat-Requests eines Chat-Users anzeigen und bei Bedarf auch wieder löschen. Abbildung 8 zeigt die Komponente des Admin-Clients, die für die Verwaltung der Zähler zuständig ist.

Die Count-Komponente ruft die GraphQL Schnittstelle unter `/graphql?query={allCount{id username counting}}` mit einem HTTP GET Request und einem Observable Object `<CountResponse>` auf, um alle Zähler Einträge darstellen zu können. Hierbei wird das erhaltene JSON Objekt an die TypeScript Klasse der CountResponse geparsed, die dann im weiteren Schritt im HTML-Code zur Anzeige genutzt wird. Zum Löschen aller Einträge wird die GraphQL Schnittstelle mit einem POST Request unter `/graphql` aufgerufen. Der Body dieser Anfrage muss die Mutation `{"query": "mutation{clearCount}"}` im

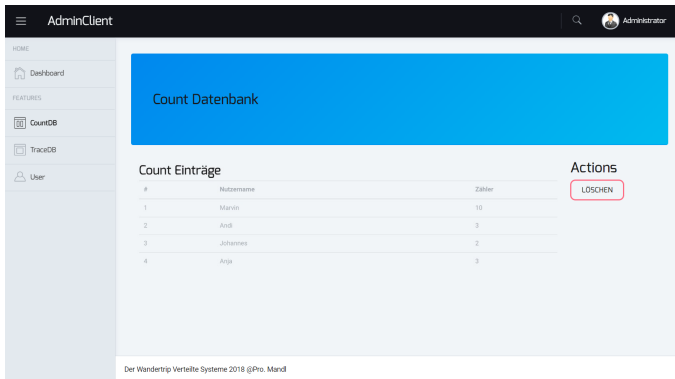


Fig. 8. Count-Administration des Admin-Clients.

JSON Format enthalten, um eine erfolgreiche Löschung der Einträge zu erzielen.

#### 4.10.2 Trace-Administration

Analog zur Count-Administration kann die Anwendung in der Trace-Verwaltung Einträge von versendeten Nachrichten eines Chat-Users anzeigen und diese bei Bedarf auch wieder löschen. In Abbildung 9 ist die Trace-Komponente mit einigen Einträgen zu sehen. Sie kann neben dem Inhalt einer Nachricht sowohl den serverThread als auch den clientThread anzeigen lassen, die eine genaue Analyse der versendeten Nachrichten erlaubt.

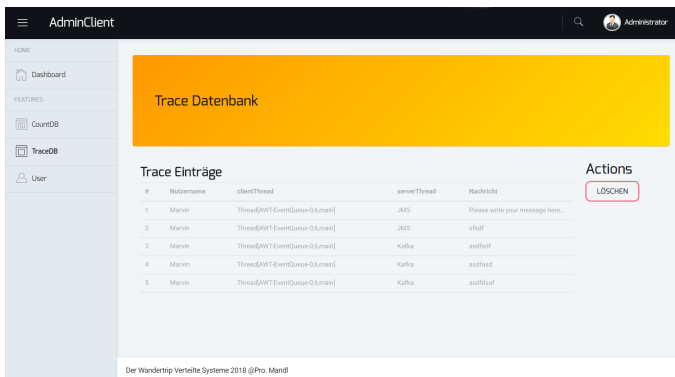


Fig. 9. Trace-Administration des Admin-Clients.

Die Trace-Administration ruft die GraphQL Schnittstelle unter `/graphql?query={allTrace{id username clientthread message serverthread}}` mit einem HTTP GET Aufruf und einem Observable Object `<TraceResponse>` auf. Wie auch in der Count-Komponente wird das erhaltene JSON Objekt an die TypeScript Klasse der `TraceResponse` geparsed, die dann wiederum für die HTML-seitige Anzeige genutzt wird. Zum Löschen aller Einträge wird die GraphQL Schnittstelle

mit einem POST Request unter `/graphql` aufgerufen. Der Body dieser Anfrage muss die Mutation `{ "query": "mutation{clearTrace}" }` im JSON Format enthalten, um eine erfolgreiche Löschung der Einträge zu erreichen.

#### 4.10.3 Chat-User-Administration

Im Reiter der Chat-User-Administration kann die Anwendung alle angemeldeten User anzeigen und bei Bedarf können diese auch wieder abgemeldet und gelöscht werden. In Abbildung 10 ist die User-Komponente mit beispielhaften eingeloggten Benutzern zu sehen.

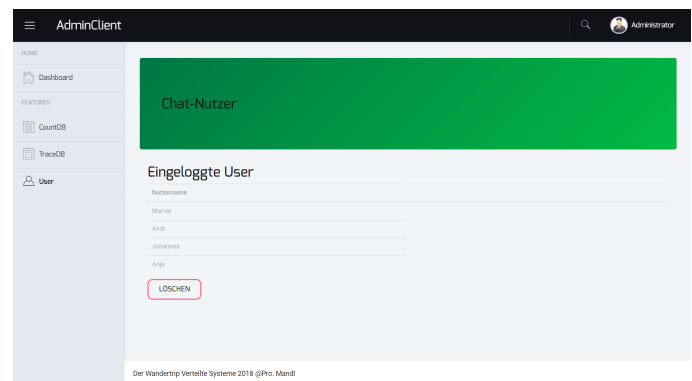


Fig. 10. Chat-User-Administration des Admin-Clients.

Die Chat-User werden über die ReST Schnittstelle beim Laden des Reiters unter `/rest/users/currentusers` mit einem HTTP GET Request aufgerufen. Auch hier wird das erhaltene JSON Objekt mithilfe des Observable Objects `<ChatUserResponse>` an die korrespondierende TypeScript Klasse geparsed, die dann wiederum im HTML-Code zur Visualisierung verwendet wird. Zum Löschen aller Einträge wird die ReST Schnittstelle mit einem DELETE Request unter `/rest/users/logout/<user>` aufgerufen. Hierbei wird über die `chatUserList` iteriert, die im vorherigen GET Request mit den eingeloggten Usern befüllt wurde.

## 5 FAZIT

Im Laufe des Semesters konnten alle Anforderungen an die Anwendung umgesetzt werden. Anfangs verursachte jedoch die umfangreiche Aufgabenstellung und die Verwendung der vielen verschiedenen Technologien Unsicherheit im Team. Nachdem jedoch das JMS-Grundgerüst stand und eine Kommunikation über JMS mit dem Wildfly-Server möglich war, konnten die Anforderungen gut auf das Team verteilt und schrittweise umgesetzt werden. Besondere Herausforderungen waren dabei:

- Anfänglich Überblick verschaffen
- Abgrenzung und Aufteilung der einzelnen Bestandteile
- Debuggen bei unüberschaubaren Serverprozessen
- Koordination und Verknüpfung der verschiedenen Technologien

Ergebnis der Arbeit ist eine Chat-Anwendung mit folgenden Funktionen:

- Einloggen über eine ReST-Schnittstelle beim Server sowie anschließendes transaktionsgesichertes Versenden von Nachrichten über eine Swing-Oberfläche, wahlweise über JMS oder Kafka
- Durchführung von Lasttests über eine Benchmarking-Anwendung
- Verwaltung der verteilt gespeicherten Nachrichten mit einem Admin-Client über eine GraphQL-Schnittstelle

## REFERENCES

- [1] *Middleware for Communications* <https://bit.ly/2A7Y7u0>
- [2] *Introduction to GraphQL* <https://graphql.org/learn/>
- [3] *The Fullstack Tutorial for GraphQL* <https://www.howtographql.com>
- [4] *GraphQL vs ReSt: Overview* <https://philsturgeon.uk/api/2017/01/24/graphql-vs-rest-overview/>
- [5] *ReST vs. GraphQL: Critical Review* <https://blog.goodapi.co/rest-vs-graphql-a-critical-review-5f77392658e7>
- [6] *Kommentar: Docker – das Ende der Virtualisierung* <https://www.heise.de/developer/meldung/Kommentar-Docker-das-Ende-der-Virtualisierung-3949022.html>