Redesign einer Chat-Anwendung als verteiltes System.

C. Eidelloth, D. Sautter, F. Stützinger und M. Auch

*Abstract*—These instructions give you guidelines for preparing papers for IEEE TRANSACTIONS and JOURNALS*.* Use this document as a template if you are using Microsoft *Word* 6.0 or later. Otherwise, use this document as an instruction set. The electronic file of your paper will be formatted further at IEEE. Define all symbols used in the abstract. Do not cite references in the abstract. Do not delete the blank line immediately above the abstract; it sets the footnote at the bottom of this column.

*Index Terms*— JMS, Chatapplication, XA-Transaction, RESTful APIs, JavaFX, Wildfly, Performance.

# Motivation und Problemstellung

Vernetzte Rechnersysteme haben sich in letzter Zeit rasch entwickelt, dazu zählen auch die Verteilten Systeme, welche sich aus verschiedenen unabhängigen Bestandteilen zusammensetzen um ein vollständiges System zu bilden [1].

In dieser Arbeit soll der Umbau eines vorhandenen, nachrichtenbasierten Java-Programms in ein verteiltes System realisiert werden. Dabei gilt es im Rahmen der Aufgabenstellung, neue und bereits erlernte Technologien zu nutzen, um eine verteilte Anwendung mit dem Fokus auf Skalierbarkeit, Transaktionssicherheit und Performance zu entwickeln.

Im Zuge der Realisierung der neuen Chatanwendung ergibt sich eine Reihe von Problemstellungen. Ursache dafür sind gestiegene Anforderungen an die verteilte Strukturierung der Anwendung sowie an die Kommunikation zwischen Server und Clients, die nun anhand einer Message-Service-Architektur implementiert werden soll. Mittels dieser wird zu der bisher einfachen, nachrichtenbasierten Programmierung eine asynchrone Kommunikation eingebracht. Eine weitere Herausforderung liegt in der Umsetzung einer verteilten XA-Transaktion die u.a. die Persistierung von Inhalten in zwei Datenbanken umfasst. Im Vergleich zu dem einfachen synchronen *call-and-return*-Stil auf einem lokalen System, ist unter anderem mit einer erhöhten Anzahl an Fehlversuchen zu rechnen [2]. Diesen ist mit entsprechenden Maßnahmen zu begegnen.

# Einführung

## Message-Service-Architektur

Eine Möglichkeit Systemkomponenten zu einem verteilten, nachrichtenbasierten System zusammenzusetzen, ist die Message-Service-Architektur. Diese Architektur und der für die Umsetzung genutzte Standard JMS sind daher nachfolgend beschrieben.

### Kriterien für die Anwendung, Vorteile und Herausforderungen

Ein wesentliches Merkmal der anzustrebenden, verteilten Architektur gegenüber dem Ausgangsprojekt ist die asynchrone Verarbeitung. Der Sender einer Nachricht benötigt für die weitere Verarbeitung keine synchrone Antwort, sondern agiert nach dem Prinzip „fire-and-forget“. Hierbei kann ein wesentlich höheres Eintreffen von Nachrichten bei dem Server erfolgen, als dieser verarbeiten kann. Aufgrund dessen ist eine Nachrichten-Queue einzuführen, die Nachrichten puffert. Hierbei sollen Sender und Empfänger soweit entkoppelt sein, dass diese in völlig unterschiedlichen Technologien und Programmiersprachen implementiert werden können. Zudem bietet eine Nachrichten-Queue den Vorteil, dass zuverlässigere Zustellung erzielt und damit die Verfügbarkeit und Robustheit von Systemen erheblich gesteigert werden können. Aus diesem Grund werden MQ-Systeme insbesondere im Bereich Finanz- und Kontodaten häufig eingesetzt [2].

Für eine Umsetzung der Message-Service-Architektur steht im Java-Kontext die, unter anderem durch den JSR-343 definierten, JMS API zur Verfügung [3], weshalb diese nachfolgend beschrieben wird.

### Java Messaging Service (JMS)

Der als Bestandteil von JavaEE spezifizierte Standard JMS stellt als API eine Möglichkeit der Interaktion von Java-Anwendungen mit einer Message Oriented Middleware (MOM) zur Verfügung. Dies ist durch Abbildung 1 verdeutlicht. Vom Grundsatz her stellt die Message Oriented Middleware eher ein prozessorientiertes Client/Server-Modell dar und bietet damit nicht das gleiche Abstraktionsniveau wie bei objektorientierten Konzepten [1].



Abbildung 1: Clients in verschiedenen Rollen kommunizieren mit dem JMS Provider (hier eine MOM) über die JMS API [4]

Würde JMS alle vorhandenen Funktionen von Messaging Systemen bereitstellen, wäre dies viel zu komplex, weshalb nur die notwendigen Funktionalitäten für eine Implementierung anspruchsvoller Unternehmensanwendung bereitgestellt werden [5]. Wenn eine Komponente JMS nutzt, wird diese als Client bezeichnet. Dieser kann mithilfe von JMS senden oder empfangen. Dabei bietet JMS die Möglichkeit eines asynchronen, also losen, Austausches, bei welchem die Kommunikationspartner nicht gleichzeitig erreichbar sein müssen [4]. Dies bedeutet, dass nicht alle Kommunikationspartner zu einem Austausch gleichzeitig erreichbar sein müssen, um eine Verlustfreie Kommunikation zu gewährleisten zu können, auch wenn dieser vorübergehend nicht erreichbar ist.

#### JMS-Destinations

JMS bietet zur Übermittlung von Nachrichten zwei JMS-Destinations an, Queue und Topic. Die Queue dient der asynchronen Point-to-Point Kommunikation. Diese stellen dabei die Komponenten, an die sich die Kommunikation richtet, dar. Die Nachrichten werden in der Regel nach dem FIFO-Prinzip durch den Sender in der Queue abgelegt und durch den Empfänger dort abgeholt. Topics werden hingegen eingesetzt, wenn die Nachricht im Rahmen eines Publish-Subscribe-Verfahrens an mehrere Empfänger versendet werden soll. Dabei schickt der Publisher die Nachricht an ein sogenanntes Topic, an welchem sich dann mehrere Subscriber anmelden, um diese zu erhalten [4].

#### JMS-Provider

Für den Einsatz von JMS wird ein JMS-Provider benötigt, der die genannten JMS-Destinations verwaltet. Als Beispiel für einen JMS-Provider kann ActiveMQ angeführt werden. Der Provider stellt eine Einheit dar, die JMS für eine Anwendung zur Verfügung stellt. Dabei sollte der JMS-Provider idealerweise zu 100% in Java geschrieben werden, um die Arbeit bei der Implementierung eines neuen Providers zu minimieren [5]. Der JMS Provider stellt in der Regel eine Instanz da, die von einem JMS Client eine Nachricht übergeben bekommt und diese weiterverarbeitet. Dabei stellt der Provider wie z.B. die MOM in Abbildung 1 sicher, dass die verschiedenen Nutzer voneinander getrennt sind und nicht direkt untereinander kommunizieren können. Dabei entsteht eine Entkopplung, die es ermöglicht verschiedene Komponenten mittels JMS einzubinden oder komplikationsfrei auszutauschen [6].

## Transaktionen in verteilten Systemen

Eine Transaktion ist eine zusammengefasste Abfolge von Ereignissen, die alle erfolgreich ausgeführt werden müssen, um ein Ergebnis zu erzielen [7]. Verteilte Transaktionen zeichnen sich im Wesentlichen dadurch aus, dass sie ihrer Ausführung eine Koordination zwischen mehreren Knoten erforderlich ist [1].

### Eigenschaften

Für die Verarbeitung von Transaktionen werden sogenannte Transaktionssysteme eingesetzt. Diese müssen die Einhaltung der ACID-Kriterien gewährleisten. Zu diesen Prinzipien zählen die Unteilbarkeit (Atomicity), Konsistenz (Consistency), Isolation (Isolation) und Dauerhaftigkeit (Durability) [8]. Wichtig für das Verständnis von Transaktionen sind zudem die Phasen, die während der Verarbeitung einer Transaktion eintreten können.

Eine Transaktion wird mit “begin” gestartet, werden die nachfolgenden Aktionen, die durch die Transaktion zusamengefasst werden korrekt ausgeführt, so erfolgt ein “commit”, der zum Festschreiben der erzielten Ergebnisse auf allen Knoten führt [1].

### Herausforderungen

Die Abwicklung verteilter Transaktionen bringt verschiedene Herausforderungen mit sich.

So müssen die verschiedenen Knoten, auf denen Aktionen ausgeführt werden, miteinander koordiniert werden. Für diesen Zweck werden so genannten Koordinationsprotokolle eingesetzt. Ein bekanntes Beispiel ist das Two-Phase-Commit-Protokoll [9]. Wesentlich sind außerdem Logging-Mechanismen, die im Bedarfsfall die notwendigen Informationen für ein Rollback bereitstellen [10].

Eine weitere Herausforderung stellt der nebenläufige Zugriff auf verteilte Objekte dar. Der Zugriff muss dabei so erfolgen, als würde das Objekt zu diesem Zeitpunkt nur durch einen Akteur bearbeitet werden und ist anschließend zu synchronisieren um Fehlersituationen wie lost-update oder dirty-read zu vermeiden [1].

# Konzeption der verteilten Chatanwendung

Ausgehend von der zu Beginn bereitgestellten Chatanwendung, gilt es eine, für ein verteiltes System optimierte Anwendung zu erstellen. Durch diese Änderung der Anforderungen, war die bisherige monolithische Struktur der Chatanwendung weitestgehend ungeeignet. Dies war nicht nur der Tatsache geschuldet, dass die vorhandenen Komponenten Server, Client und Benchmarkclient in einer einzigen Applikation abgebildet wurden. Die Komponenten waren zum Teil durch sehr viele Abhängigkeiten an unterschiedlichen Stellen miteinander gekoppelt. Außerdem wurden einzelne SOLID-Prinzipien[[1]](#footnote-1) verletzt, womit zunächst ein grundlegendes Refactoring durchgeführt und im Zuge dessen die Architektur neu überdacht werden musste. Im nachfolgenden ist daher ein technisches Konzept für die veränderte Umgebung und die grundlegende Architektur für die beiliegende Chatanwendung beschrieben.

Zunächst gilt es allerdings die neuen, zum Ziel gesetzten fachlichen Anforderungen noch einmal zusammenzufassen.

## Struktur des Anwendungsszenarios

Die verteilte Chatanwendung muss mehreren Anwendern die Möglichkeit bieten, Nachrichten an eine Gruppe angemeldeter Benutzer zu versenden und Nachrichten anderer Benutzer zu empfangen. Demnach sind zusätzlich zum Senden und Empfangen von Nachrichten ein Login und Logout zu implementieren. Dabei soll die Performance der Chatanwendung mithilfe eines Benchmarking-Clients unter Berücksichtigung verschiedener Metriken überwacht werden können. Über die reine Chat-Funktionalität hinaus sollen verschiedene Informationen bezüglich der versendeten Nachrichten in zwei Datenbanken persistiert werden. Sollte das Persistieren nicht vollständig erfolgen ist ein Rollback durchzuführen.

Auf die in der Datenbank persistierten Daten soll unter Verwendung einer Administrations-Oberfläche zugegriffen werden können.

## Architektur aus der Komponentensicht[[2]](#footnote-2)

Ausgehend von den Anwendungsszenarien wurde die Architektur der Chatanwendung überdacht und neu entwickelt. Hierfür sind im Anhang VI.A entsprechende Komponentendiagramme der anfänglichen und der, im Zuge dieser Arbeit, neu entwickelten Anwendung gegenübergestellt. Diese sollen den groben Aufbau und die Veränderungen aufzeigen. Grundsätzlich ist das alte Projekt als eine monolithische Java-Anwendung zu sehen, während die Weiterentwicklung auf modulare Apache Maven Projekte aufbaut. Jede Komponente aus Abbildung 4 stellt hierbei ein eigenes Maven-Projekt dar, das Abhängigkeiten zu anderen Projekten besitzt. Diese Abhängigkeiten sind differenziert zu betrachten und werden in den nachfolgenden Komponentenbeschreibungen noch einmal genauer betrachtet.

### Server

Die Server-Komponente beinhaltet alle Funktionen, die für die serverseitige Anwendung notwendig sind. Dabei ist diese auf den JBoss Wildfly optimiert und wird als eine einzelne WAR-Datei ausgeliefert. Es besteht hierbei lediglich eine Abhängigkeit zu der Model-Komponente, welche die, für die Kommunikation server- und clientseitig verwendeten Datenobjekte enthält. Diese sind zentral in einer ausgelagerten Komponente definiert, um eine redundante Auslegung und damit ggf. Fehler bei zukünftigen Weiterentwicklungen zu vermeiden. Dieses Model wird bei dem Bauen der auszuliefernden WAR-Datei automatisch eingebunden.

Die Serverkomponente besitzt insgesamt 4 Schnittstellen. Diese unterteilen sich den angebotenen RESTful Webservice, eine Anbindung zu der Queue und dem Topic des JMS-Service, sowie eine Datenbankanbindung zu mehreren MariaDB-Instanzen. Dieser Aufbau wird durch das Komponentenmodell aus Abbildung 1 noch einmal verdeutlicht.



Abbildung 2: Komponentenmodell der serverseitigen Anwendung

### Client und Konnektoren

Anders als die Serverkomponente wurde der Client viel modularer konzipiert. Aus Verteilungssicht handelt es sich hierbei um eine einzelne Client-Komponente, die am Ende eines Build-Prozesses entsteht. Der Code wurde allerdings in komplett unabhängigen Projekten entwickelt. Hiermit konnte durch die striktere Umsetzung des „seperation of concern“-Prinzips[[3]](#footnote-3), einige Vorteile, wie die Wiederverwendbarkeit bzw. einfache Austauschbarkeit durch die strikte Trennung der Verantwortlichkeiten gewonnen werden. Die bereits zuvor beschriebene Ausgliederung des Datenmodells ist hierbei nur ein Teil der Modularisierung, welche in Abbildung 2 dargestellt ist. Während die Client-Komponente sehr schlank ist und hauptsächlich nur die Masken, ein UI-Model, Navigations- und Validierungslogik enthält, ist jegliche Kommunikation den Konnektoren-Komponenten überlassen.

Diese Konnektoren sind rein technische Komponenten ohne jegliche Fachlogik[[4]](#footnote-4). Sie sind generisch und über Schnittstellen für jeden Client individuell konfigurierbar. Dies führt zu einer verbesserten Wiederverwendbarkeit, welche bspw. bei der Implementierung des Benchmark-Clients oder auch zukünftige neu entwickelte Clients zum Tragen kommt. Außerdem ist somit eine vereinfachte Austauschbarkeit der Kommunikationsmittel gegeben, sollte die Anbindung an den RESTful Webservice oder JMS durch eine andere Kommunikationsart, in bestehenden oder neuen Clients ersetzt werden. Dies ist ebenfalls zum Vorteil der Wart- und Änderbarkeit, da die Kommunikation übergreifend zentral und frei von Redundanzen an den Konnektoren vorgenommen werden können.



Abbildung 3: Komponentenmodell des Clients mit Konnektoren

### Benchmarking-Client

Für die Durchführung eines Benchmarkings ist ein separater Baustein, der Benchmark-Client, implementiert. Anders als der vom Ausgang bereitgestellte Benchmark-Client, ist dieser neu implementiert und besitzt keine Abhängigkeiten auf den zuvor beschriebenen Anwendungsclient. Wie der normale Client, nutzt auch dieser lediglich die Konnektoren für die Anbindung an den RESTful Webservice und an JMS.



Abbildung 4: Komponentenmodell des Benchmarking-Clients

## Datenmodell

Das umzusetzende Datenmodell ist hierbei sehr simpel. Es handelt sich, wie in Abbildung 4 dargestellt, um zwei Entitäten ohne Beziehungen. Während die TraceDB den Fokus vor allem auf das persistieren der Nachrichten ausgelegt ist, soll die CountDB die Anzahl der Nachrichten gruppiert auf die Chatteilnehmer speichern. Die Komplexität ergibt sich im Rahmen der Arbeit lediglich aus der Absicherung einer verteilten Transaktion, denn beide Tabellen liegen in für sich eigene Datenbankinstanzen. Eine entsprechende Umsetzung dieser Transaktionsklammer und entsprechende Fehlerbehandlung ist nachfolgend, im Rahmen der Implementierung beschrieben.



Abbildung 5: Domainmodell der serverseitigen Datenbankschicht

## Fehlertolerante Transaktionsverarbeitung für REST-Clients

Der zuvor in Abschnitt B beschriebene REST-Konnektor soll zudem eine konsistente Fehlerbehandlung bieten und fallweise automatisiert Anfragen an den Server wiederholen. Dieser Vorgang mit einer möglichen Wiederholung ist in Abbildung 7 in einer Sequenz dargestellt. Die durch eine maximale Anzahl beschränkten Wiederholungen werden hierbei durch bestimmte HTTP-Fehlercodes oder Timeout-Exceptions getriggert.



Abbildung 6: Login/Logout mittels REST und Retry-Mechanismus.

# Implementierung

Im Folgenden wird nun auf die Umsetzung der vorab beschriebenen Architektur eingegangen. Hierfür sind zunächst Entwurfsentscheidungen für die Basisarchitektur festgehalten, bevor im Anschluss auf detaillierte Umsetzungsdetails, welche als Anforderung an die Anwendung vorgegeben waren, eingegangen wird.

## Umsetzung der Basisarchitektur

Bevor jedoch auf Implementierungsdetails eingegangen wird, sind zunächst das verwendete Zielsystem und entsprechende Entwurfsentscheidungen festgehalten.

### Das Zielsystem und dessen Vorzüge

Die Ursprüngliche Anforderung an die Chatapplikation definierte den Wildfly 8.2 als Zielsystem. Unter Absprache wurde jedoch im Nachgang der Umstieg auf eine aktuellere Version des Wildflys in Betracht gezogen und letztendlich umgesetzt. Für einen Umstieg auf die aktuellste Version 10.1.0 gelten vor allem die nachfolgend zusammengefassten Vorzüge nach [11], [12]:

* Performancesteigerung durch den Support des aktuelleren Protokoll HTTP/2.[[5]](#footnote-5)
* Einfacheres Mangement der Wildfly-Konfiguration, bspw. durch die Bereitstellung vordefinierter Datenbankkonfigurationen.
* Das in Wildfly 8 für die Umsetzung von JMS standardmäßig genutzte Projekt HornetQ wurde eingestellt. Die Codebasis ist an Apache übergeben worden und in dem neuen Projekt ActiveMQ Artemis aufgegangen.
* Die Sicherheit ist in Wildfly 8.2 nicht mehr gewährleistet, da Sicherheitsupdates für Wildfly 9 und 10, jedoch nicht mehr für 8 veröffentlicht wurden.
* Der Wildfly 10 ist zukunftssicherer, da das kommende Java 9 bereits voll unterstützt wird.
* Es wird die aktuellste Version 5 des ORM-Frameworks Hibernate unterstützt. Dies führt zu einer verbesserten Nutzung und möglichen Performancegewinnen.[[6]](#footnote-6)

Es wurde außerdem erreicht, dass die Chatapplikation einen Großteil der Konfiguration während des Deployments selbst übernimmt, wodurch ein entsprechender Aufwand bei dem initialen Aufsetzen des Wildflys zum Teil entfällt. Konfigurative Änderungen können somit in der Applikation selbst mittels einfachem XML vorgenommen werden.

### Das Build- und Deploymanagement

Mittels des Einsatzes eines Dependency- und Buildmanagement-Tools, wie das verwendete Apache Maven, bringt die neue Chatanwendung viele Vorteile mit sich. Hierzu zählt neben einem vereinfachten und redundanzfreien Verwalten der Abhängigkeiten zu bestimmten Bibliotheken, auch das automatisierte Bauen und Testen der Anwendung. Eine Aufwandsverringerung wurde vor allem mittels des automatisierten Deployments durch Apache Maven bei jedem Build auf den Wildfly erreicht.[[7]](#footnote-7)

### Anbindung der Datenbankinstanzen

Die Anbindung der beiden Datenbanken CountDB und TraceDB wird außerhalb des Codes unter Verwendung einer persistence.xml konfiguriert. Dadurch ist die Konfiguration vom restlichen Code entkoppelt und zentralisiert.

Für die Umsetzung der Persistenz werden nach dem Modell der Container Managed Persistence (CMP) [14] die Java Persistence API (JPA) [15] und Entity Beans verwendet. Die Anwendung von CMP bietet sich in diesem Falle an, da die zu implementierende XA-Transaktion mehrere Entity-Beans und damit zusammenhängend zwei JTA-Transaktionen umfasst. CMP übernimmt dabei die Koordination der einzelnen JTA-Transaktionen und reduziert somit den Entwicklungsaufwand. Zur Realisierung der CMP kommt der Transaction-scoped Persistence Context zum Einsatz. Demnach ist die Lebensdauer des Kontexts auf eine einzelne JTA Transaktion beschränkt. (Weiteres zu JTA wird nachfolgend in Abschnitt C erläutert.)

## Ablösung des TCP-Websocket durch JMS und einen RESTful Webservice

Wie zu Beginn bereits beschrieben, gilt es das System in eine Message-Service-Architektur zu überführen. Hierfür kommen einige Technologien zum Einsatz, die durch den JavaEE-Stack spezifiziert und durch den Applikationsserver unterstützt werden. Neben dem bereits beschriebenen JMS, werden ebenfalls JAX-RS, JPA und JTA zur Umsetzung der Anforderungen eingesetzt und deshalb in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben. Grundlegende JavaEE-Technologien wie das Contexts and Dependency Injection (CDI) sowie die Enterprise-Java-Beans (EJB) werden ebenfalls verwendet und unterstützen die Umsetzung der Funktionalitäten durch Container-, Context- und Bean-Management [16].

### Implementierung JMS

Es gilt den TCP-Websocket zu entfernen und mittels Queue und Topic eine asynchrone Kommunikation einzuführen. Dies wurde unter anderem mit dem Einsatz serverseitiger Message-Driven-Beans (MDB) zur Anbindung an die Queue realisiert. Diese MDBs reagieren durch einen verwalteten Threadpool auf eingehende Nachrichten in der Queue und bedienen sich eines gemeinsamen Message-Driven-Context [17]. Mittels diesem Context kann die Chatanwendung bei auftretenden Problemen ein mögliches Rollback durchführen.

Zu Beginn erzeugt der Wildfly 10 standardmäßig einen Threadpool mit 20 Threads [18]. Zur Verarbeitung greifen diese Threads wiederum auf Stateless Session Beans zu, die weiterfolgende Verarbeitungen übernehmen. Die Größe des Threadpools ist allerdings konfigurierbar, und wurde im Rahmen der Performance-optimierungen angepasst.

### Implementierung RESTful Webservices

Die Umsetzung der RESTful Webservices erfolgt nach der *Java API for RESTful Web Services* (JAX-RS) in der Version 2.1, welche in der Spezifikation JSR 339 standardisiert worden ist [19]. Hierbei können per Annotationen Ressourcen definiert, Pfade vergeben und somit Methodenaufrufe an entsprechende URI’s gebunden werden. Wie in den Anforderungen genannt, werden hiermit die Schnittstelle für den Admin-Client sowie für den Login umgesetzt. Dabei nutzt die Chatanwendung die vom Applikationsserver bereitgestellte Implementierung RESTEasy. Diese setzt ähnlich zu der Referenzimplementierung Jersey alle grundlegenden Spezifikationspunkte um [20] und ist für unseren Anwendungsfall vollkommen ausreichend.

## Umsetzung einer gemäß XA verteilten Transaktion

X/OpenXA (XA) ist ein Standard für die Verarbeitung von verteilten Transaktionen. Wesentliches Element dieses Standards ist das Zwei-Phasen-Commit-Protokoll, welches der Koordination der verschiedenen Knoten dient [19].

Je nachdem woher der Aufruf der Transaktionsmethoden (begin, commit, etc.) kommt, unterscheidet man client-managed, container-managed und bean-managed. In diesem Fall wird eine container-managed Transaktion eingesetzt. Das bedeutet, dass der EJB-Container für das Setzen der Transaktionsgrenzen verantwortlich ist. WIR SIND IM IMPL-TEIL UND SOLLTEN DAHER AUCH SCHREIBEN, WOHIN DENN ZURÜCKGEROLLT WIRD ODER??

Für die Implementierung verteilter Transaktionen mit EJB wird ein Transaktionsmanager benötigt, dieser wird von Wildfly bereitgestellt. Schnittstelle zu diesem Transaktionsmanager wird durch JTA (Java Transaction API) definiert. JTA basiert auf dem XA-Standard der den Rahmen für die umzusetzende Transaktion bildet [20].

Wichtig ist zudem, dass auch die in die Transaktion eingebundenen Ressourcen „XA-compliant“ sind. Das ist für die MariaDB-Instanzen unter Verwendung der Datenbank-Engine InnoDB gegeben [21].

Für die Realisierung der verteilten XA-Transaktion muss jede der Datenbankinstanzen als XA-Datasource am Wildfly definiert werden. Aus Gründen der Flexiblität werden diese nicht statisch am Wildfly konfiguriert, sondern während des Deployments anhand der Konfigurationen in der mysql-ds.xml angelegt.

## Umsetzung der Clients mit neuer UI

Aufgrund der neuen Anforderungen an die Chatapplikation und die neue Architektur, wurden der Chatclient und der Benchmarkingclient von Grund auf neue geschrieben. Hierfür wurde sehr viel alter Code beseitigt und stark modifiziert, um die Clients schlanker und moderner zu machen. Es wurden ebenfalls die JavaFX-Masken komplett neu implementiert, um eine erhöhte Benutzerfreundlichkeit durch moderne Masken zu erreichen. Diese sind in Anhang VI.C.1 dargestellt. Vor allem der Benchmarkingclient profitiert von dieser Maßnahme, da die alte Maske noch komplett mittels Code erzeugt wurde. Die neu entwickelte Maske ist ebenfalls durch das Konzept der *fxml*[[8]](#footnote-8) entkoppelt bietet viele neue Funktionalitäten. Diese umfassen unter anderem die Live-Berechnung und Ausgabe verschiedener Kenngrößen bereits während des Benchmarkings sowie das ebenfalls Live-Aufbereiten von vordefinierten Diagrammen, um ein entsprechendes Ergebnis direkt zu visualisieren. Diese Masken sind ebenfalls Beispielhaft in Anhang VI.C.2 beigefügt.

## Umsetzung eines Admin-Clients

Wie in den Anforderungen festgehalten, ist ebenfalls die Entwicklung eines sogenannten Admin-Clients mittels eines modernen Web-Application-Frameworks vorgesehen. Dieser soll mit einer REST-Schnittstelle kommunizieren und aktuelle Serverdaten aus den Datenbanken auslesen und darstellen. Hierzu zählen:

* Aktuell angemeldete Chat-Benutzer
* Anzahl der Nachrichten pro Chat-Benutzer
* Verschiedene statistische Daten

Ferner soll der Admin-Client die Möglichkeit haben, die Daten der Count- und Trace-Datenbank zu löschen.

### Angular 2 als Entwurfsentscheidung

Das Web-Application-Framework Angular wurde am 14. September 2016 in der Version 2.0 veröffentlicht [23]. Damit ist diese Version des Frameworks zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit in etwa 3 Monate jung und zählt folglich zu den modernen Web-Application-Frameworks. Da hierzu auch einige andere verbreitete Frameworks zählen, seien im Folgenden einige Gründe aufgezählt, die diese Entwurfsentscheidung herbeigeführt haben.

Bei der Entwicklung von Angular 2 wurde versucht, die Erfahrungen der Community aus ca. 5 Jahren Entwicklung mit Angular 1.x zu integrieren. Hierbei wurde insbesondere Wert darauf gelegt, dass die Produktivität des Entwicklers erhöht werden kann, indem ihm mehr Unterstützung durch die Entwicklungsumgebung selbst sowie durch die Programmiersprache TypeScript garantiert wird [24]. Durch die Ausnutzung dieser Faktoren konnte der Admin-Client zügig entwickelt werden.

Bei Angular 2 handelt es sich um einen kompletten Neubau, nicht etwa eine Erweiterung der Version 1.x. Hierdurch konnten viele Konzepte überdacht werden mit dem Ergebnis, dass beispielsweise die Komponentenarchitektur anstelle des vorherigen Konzepts mit Controllern und Direktiven trat. Von diesem Konzept waren die Entwickler schlussendlich so überzeugt, dass es auf Angular 1.x zurück portiert wurde [24].

Diese Vorteile gegenüber anderen modernen Web-Application-Frameworks und weitere Verbesserungen gegenüber Angular 1.x - insbesondere im Bereich der Performance – veranlassten das Projektteam zur Entwurfsentscheidung, den Admin-Client mit diesem Web-Application-Framework zu entwickeln.

### Grafische Oberfläche des Admin-Clients

Um die Benutzeroberfläche grafisch ansprechend gestalten zu können, wurde auf das Framework Material2 zurückgegriffen, welches sich zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit noch in einer Entwicklungsversion befindet. Es handelt sich um die offizielle Umsetzung der Material-Design-Richtlinien von Google durch das Angular-Team [25]. Da die für die Entwicklung des Admin-Clients notwendigen GUI-Elemente bereits in der Entwicklungsversion unterstützt wurden, entschied das Projektteam die Verwendung von Material2.

### Aufbau und Architektur des Admin-Clients

Die Architektur wurde aufgrund der geringen funktionalen Komplexität des Admin-Clients ebenfalls bewusst einfach gehalten, um keine unnötige Komplexität aufzubauen („Over-Engineering“) [26].

Die drei Hauptfunktionen „Chat-Benutzer“, „Statistiken“ und „Daten löschen“ werden jeweils optisch durch einen Tab repräsentiert.



Abbildung 7: Architektur des Admin-Clients. Die obligatorische AppComponent greift für die Darstellung weiterer Daten auf die ChatClientListComponent und die StatisticsComponent zurück.

Aus architektureller Sicht besteht die Applikation aus einer generellen *AppComponent*, welche die Darstellung der Tabs sowie die Funktion zum Löschen der Daten bereitstellt.

Des Weiteren existiert eine *ChatClientListComponent*, welche sich um die Abfrage der aktuellen Chat-Benutzer sowie deren Nachrichtenanzahl kümmert und diese Informationen auf dem Bildschirm darstellt.

Außerdem frägt die *StatisticsComponent* verschiedene statistische Informationen vom Server ab und stellt sie ebenfalls im entsprechenden Tab dar. Hierbei werden die folgenden Server-Informationen ausgegeben:

* Die gesamte Anzahl der Nachrichten
* Die Anzahl der eingeloggten Benutzer
* Die durchschnittliche Nachrichtenzahl pro eingeloggtem Benutzer
* Die durchschnittliche Nachrichtenlänge

Die Komponenten fragen die Daten selbstständig beim Server über die REST-Schnittstelle an. Eine Kapselung dieser Abfragen in Services ergibt für die geringe Komplexität der Applikation noch keinen Sinn, da effektiv keine Logik geteilt werden würde, was jedoch dem Haupteinsatzgebiet von Services entspräche [27].

Somit handelt es sich bei dem implementierten Admin-Client um eine einfaches aber funktionelles System, bei welchem jedoch durch die Entwurfsentscheidung Angular 2 die Option besteht, dieses stark zu erweitern und architektonisch entsprechend zu optimieren.

## Weitere Umsetzungsmerkmale

Neben den vielen Änderungen und neu eingebauten Funktionen, weißt die anhängende Chatanwendung weitere zusätzliche Merkmale auf, die im Folgenden gelistet sind:

* Sowohl Chat-Client, als auch Benchmarking-Client werden durch einen Build-Vorgang zusätzlich in nativen EXE-Dateien bereitgestellt und sind somit typischerweise auf jedem PC einfach ausführbar.
* Neben der EXE-Datei wird ein Fat-Jar generiert, das alle Abhängigkeiten und Komponenten der jeweiligen Clients enthält und plattform-unabhängig mittels Java gestartet werden kann.
* Der Benchmarking-Client bereitet bereits während der Testdurchführung unterschiedliche Diagramme auf und stellt diese Live in der Maske da. Diese sind in Anhang VI.C.2 beispielhaft dargestellt.
* Serverseitig wird Contexts and Dependency Injection (CDI) verwendet, um die Abhängigkeit des Codes von der Umgebung zu reduzieren [28].
* Die Chatanwendung setzt auf die neusten Versionen bei Abhängigkeiten zu Bibliotheken und Frameworks. Weitestgehend alle durch die alte Chatanwendung bisher verwendeten Frameworks wurden ersetzt oder upgedated.

# Benchmarking

Als Teil der Anforderung waren Performance-Tests vorgesehen. Das Vorgehen, entsprechende Ergebnisse und Auswertungen sind daher nachfolgend zusammengefasst.

## Testaufbau und Rahmenbedingung

Für einen Performance-Test sollte das Verhalten des Servers bei einem hohen Kommunikationsaufkommen von Chatnachrichten untersucht werden. Dies umfasst neben dem Versenden von Nachrichten über JMS ebenfalls den Login und Logout über die RESTful API. Es wurde daher die folgende Infrastruktur gewählt.

### Verwendete Infrastrukturkomponenten

Im Zuge des Projektes kam es zu Komplikationen mit der ursprünglich angedachten Testumgebung. Die vorgesehenen VMs konnten nach einigen Ausfällen und Fehler nicht als zuverlässige Umgebung genutzt werden[[9]](#footnote-9). Im Rahmen des Benchmarkings wurde daher eine verteilte Infrastruktur mittels LAN aufgebaut. Diese aus



Abbildung 8: Verteilung der Testumgebung

Die aus Abbildung 8 beschriebene Hardware untergliedert sicher hierbei wie folgt:

Laptop 1:

* CPU: Intel Core i5 7200U - 2,5GHz
* Arbeitspeicher: 8 GB DDR4 RAM
* Betriebssystem: Windows 10 Pro
* Prozessorarchitektur: x64
* Netzwerk: WL
* Festplatte: 500 GB HDD (5400U/min)

Laptop 2:

* CPU: Intel Core i5 4200U - 1,6GHz
* Arbeitsspeicher: 8 GB DDR3 RAM
* Betriebssystem: Windows 7 Pro
* Prozessorarchitektur: x64
* Festplatte: 500 GB HDD (5400U/min)

Die gesamte Kommunikation der Tests erfolgte über LAN, wobei die Verbindung mittels eines CAT.5e-Kabel hergestellt wurde.

### Maßnahmen zur Performanceoptimierung

Aufgrund der Tatsache, dass die Performance als eine der nicht-funktionalen Anforderungen gilt, wurden Optimierungsmaßnahmen angestrebt, um eine Performance-Steigerung zu erreichen. Hierbei wurden viele Maßnahmen mit deren Wirkung und entsprechend negativen Folgen, wie den Verlust einer Ausfallsicherheit abgewogen. Aufgrund dessen wurden mögliche Vorgehen, wie die Konfiguration von flüchtigen, nicht persistenten und „durable“ Queues, Nachrichten und Topics vermieden. Das Senden von Nachrichten wurde bspw. weiterhin auf "Persistent" belassen und nicht auf "NON\_PERSISTENT" gestellt. Dies hätte zur Folge, dass bei einem Neustart des Servers alle Nachrichten verloren gehen (Die Nachrichten könnten zu Gunsten der Performance lediglich im Hauptspeicher gehalten werden.). Ebenfalls würde hiermit die Rollback-Funktion deaktiviert, da somit keine erneute Zustellung aus der Queue erfolgen kann. Da der Rollback als funktionale Anforderung an das System gilt, wurde auf diese Optimierung verzichtet [29].

Die folgenden Maßnahmen wurden dagegen vorgenommen, um ein optimales Testergebnis zu erzielen:

* Das serverseitige Entgegennehmen und Verarbeiten von JMS-Nachrichten wird im Anschluss mittels einer gesendeten Bestätigung an die Queue beendet. Um die Queue zu entlasten, wurde daher mittels der „Controlling Message Acknowledgment“-Konfiguration auf die Option „DUPS\_OK\_ ACKNOWLEDGE“ umgestellt. Hiermit werden Bestätigungen nur „lazy“ versendet und somit Overhead reduziert.[[10]](#footnote-10) Dies führt zu möglichen Nachrichtenduplikaten, die wir in Tests nicht reproduzieren und in möglichen Ausnahmefällen in Kauf nehmen [30].
* Statt den bequemen Objektnachrichten wurde nachträglich auf Textnachrichten umgestellt. Hiermit soll die Nachricht verkleinert werden. Dies wird mittels der Serialisierung der Transportobjekte in JSON-Strings angestrebt. [[11]](#footnote-11)
* Für die JMS-Nachricht werden automatisch durch JMS erzeugte Nachrichten-IDs und Zeitstempel explizit entfernt. Hiermit soll die Nachricht verkleinert werden.
* Dem Wildfly wurden konfigurativ 2 GB Arbeitsspeicher hinzugefügt, um eine erhöhte Abarbeitung der ankommenden Nachrichten zu gewährleisten.
* Durch eine Optimierung der MariaDB-Datenbanken erhalten diese ebenfalls 2 GB Arbeitsspeicher und eine größere Puffer-Konfiguration, um eine größere Verarbeitung im Hauptspeicher zu erzielen.
* Mehr Threads im Wildfly
* Der JBoss Wildfly unterstützt ein Bean-Pooling, mittels dessen vorab ein Pool an EJBs erzeugt wird. Dieser Pool wurde erhöht, da gleichzeitig die Zahl der arbeitenden Threads erhöht wurde.

### Verwendete Testmetriken

|  |  |
| --- | --- |
| Metrik | Beschreibung |
| ØRTT gesamt | Wie lange braucht eine Nachricht im Durchschnitt, bis sie wieder am Client ankommt? |
| RTT max | Wie lange braucht die Nachricht mit der größten Round-Trip-Time? |
| RTT min | Wie lange braucht die Nachricht mit der geringsten Round-Trip-Time? |
| ØRTT Server | Wie lange braucht der Server im Durchschnitt für die Verarbeitung einer Nachricht? |
| RTT SD | Wie groß ist die Standardabweichung der Round-Trip-Time? |
| ØCPU | Wie hoch ist die durchschnittliche CPU-Auslastung? |
| Freier Speicher | Wie viel Hauptspeicher ist während der Verarbeitung minimal verfügbar gewesen? |

Tabelle 1: Verwendete Testmetriken

### Testspezifikation

Die Tests werden mithilfe des Benchmarking-Client durchgeführt. Durch die Neuimplementierung ergibt sich u.a. eine Änderung im Ablauf der Benchmarking-Tests. Die im Rahmen des Tests gestarteten Clients beginnen nicht wie zuvor unmittelbar nach dem Initialisieren mit dem Versand der Nachrichten. Erst wenn alle für den Test erforderlichen Clients verfügbar sind, wird der Versand der Nachrichten zeitgleich durch alle Clients gestartet. Außerdem erzeugt jeder Benchmarking-Client bereits vorab eine PDU, die nach dem simultanen Start für jede Nachricht herangezogen und lediglich mit einer Startzeit (System-Nanotime) befüllt wird. Gleichzeitig wartet der Client nicht nach jeder Nachricht auf eine Bestätigung der Verarbeitung wie es der ursprüngliche Benchmarking-Client handhabt. Das führt im Vergleich zur vorherigen Implementierung zu einer höheren Belastung der Queue sowie der Threads die die in der Queue befindlichen Nachrichten server-seitig abarbeiten. In Abbildung 9 wird dies nochmal verdeutlicht. Zum Vergleich liegt im Anhang D die Abbildung 12, welche das bisherige Vorgehen des ursprünglichen Benchmark-Clients zeigt.



Abbildung 9 Ablauf des neuimplementierten Benchmarking-Tests

Ausgehend vom geforderten Testfall mit 10 Clients, die je 100 Nachrichten mit 50 Byte Länge versenden, wurden vier weitere Tests durchgeführt. Die Anzahl der Nachrichten sowie deren Länge wurden beibehalten, die Anzahl der Clients hingegen schrittweise erhöht. Es wurden Tests mit 10, 30, 50, 75 und 100 Clients durchgeführt.

## Darstellung der Messergebnisse



Abbildung 10: Durchschnittliche RTT und Standardabweichung aller durchgeführten Benchmarking-Tests inkl. Regressionslinien; auffälliger linearer Zusammenhang zwischen Anzahl der Chat-Clients und RTT



Abbildung 11 Verlauf der RTT, 10 Clients; linearer Anstieg der RTT mit fortschreitender Nachrichtenverarbeitung



Abbildung 12: Verlauf der RTT, 75 Clients; ebenfalls linearer Anstieg der RTT mit fortschreitender Nachrichtenverarbeitung



Abbildung 13: Durchschnittliche RTT über alle Nachrichten pro Client, 75 Clients; Linie zwischen diskreten Datenpunkten nur zur Veranschaulichung, keine Interpolation



Abbildung 14: Serverseitige Verarbeitungszeit pro Nachricht, 75 Clients; meist gleichbleibend unter 0,05s mit gelegentlichen Ausreißern bis zu ca. 0,75s



Abbildung 15: Speicher- und CPU-Auslastung durch den Server, 75 Clients; rote Linie unterteilt die beiden Phasen des Testverlaufs (s. Erläuterung)

## Interpretation der Testergebnisse

Basierend auf den dokumentierten Messergebnissen können verschiedene Aussagen getroffen werden.

Unter Verwendung von Microsoft Excel wurden die mit dem Benchmarking-Client erhobenen Daten ausgewertet (siehe Anhang XY). In Abbildung 10 ist die durchschnittliche gesamte Round-Trip-Time in Zusammenhang mit der Standardabweichung dargestellt.

Die Trendlinie wurde mithilfe einer linearen Regression ermittelt. Auffallend ist die lineare Entwicklung der durchschnittlichen Round-Trip-Time und deren Standardabweichung über alle Tests. Übertragen auf das gesamte Testszenario kann anhand dessen die Annahme getroffen werden, dass die Anwendung bei steigender Anzahl von Clients und Nachrichten für den untersuchten Bereich linear skaliert.

Diese Annahme wird ebenfalls durch den Verlauf der Round-Trip-Time während der einzelnen Tests bestätigt. Wie aus den Abbildungen 11 und 12 hervorgeht, steigt die RTT linear mit der Anzahl der verarbeiteten Nachrichten im Laufe eines Tests. Hierfür ist im Wesentlichen die Zeit verantwortlich, während der die Nachricht auf ihre Entnahme aus der Queue durch einen Thread zur Abarbeitung wartet. Die Round-Trip-Time der letzten Nachricht ist demnach die höchste. Aus dem nahezu konstanten Anstieg der RTT lässt sich eine in etwa konstante Abarbeitungsgeschwindigkeit jeder Nachricht auf dem Server folgern.

Aus Abbildung 13 geht hervor, dass keiner der Clients auffallend bevor- oder benachteiligt wird, da die Round-Trip-Time für alle Clients selbst über eine hohe Anzahl von Nachrichten in etwa identisch ist.

Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass für die Abarbeitung der Nachrichten eines jeden Clients in etwa die gleiche Menge von Ressourcen allokiert wird.

Abbildung 14 zeigt die serverseitige Verarbeitungszeit für den Benchmarking-Test mit 75 Clients. Als Erklärung für die Spitzen bei einzelnen Nachrichten könnten zeitgleiche Zugriffe mehrerer Threads auf unterschiedliche Nachrichten desselben Clients herangezogen werden. Beim Persistieren in die Datenbanken werden die zeitlich nachfolgenden Threads zunächst blockiert, bis der aktive Thread seine Änderungen committet hat, um die Konsistenz des Datenbestandes zu gewährleisten. Daraus ergibt sich eine längere Laufzeit der zunächst blockierten Threads und damit verbunden eine höhere serverseitige Verarbeitungszeit.

Abbildung 15 zeigt im Wesentlichen auf, dass sich der Ressourcenverbrauch durch den Server im Testverlauf grob in zwei Phasen unterteilen lässt. In Phase 1 steigt der Speicherverbrauch in etwa linear an, bis er sich bei einem Niveau von 1 GB einpendelt. Die CPU-Auslastung durch den Server ist unstet im Bereich von 0-50% und scheint sich im Laufe der Phase zu verringern. Phase 2 zeigt mehrmals einen nahezu perfekt linearen Anstieg des Speicherverbrauchs mit anschließendem schnellen Abfall um ca. 0,3 GB. Dieses Muster wiederholt sich viermal im Laufe des Tests und lässt sich auf das Wirken des Garbage-Collection-Mechanismus zurückführen, welcher die allokierten Speicherbereiche aufräumt. Gleichzeitig befindet sich in dieser Phase jedoch die CPU-Auslastung meistens im Bereich von 0-10%. Weiterhin zeigte der Windows Ressource Manager, dass die Auslastung der Festplatte beinahe durchgehend bei 100% gelegen hat, wodurch die Schlussfolgerung naheliegt, dass bei diesem Setup die Festplatte hauptursächlich für die Einschränkung der Performance ist.

Zusammenfassend lässt sich die Aussage treffen, dass die Serverkomponente der Chatanwendung imstande ist, ohne sichtbare Performance-Einbußen mit einer Mehrzahl von Chat-Clients gleichzeitig zu interagieren und deren Nachrichten zu verarbeiten.

# FAZIT

Ziel dieser Arbeit war es, eine vorhandene, nachrichtenbasierte Java-Anwendung in ein verteiltes System zu überführen.

Für die Kommunikation zwischen Clients und Server sollte JMS zum Einsatz kommen. Die serverseitigen Vorgänge sollten in einer XA-Transaktion zusammengefasst werden.

Als Herausforderungen stellten sich, wie zu erwarten, JMS und die XA-Transaktion heraus, da es sich in beiden Fällen um neu zu erlernende Konzepte handelte. Jedoch stellte die jeweilige Dokumentation bzw. Spezifikation in Zusammenhang mit verschiedenen Tutorials eine geeignete Grundlage für die notwendige Einarbeitung dar.

Somit konnten alle Teile der zugrundeliegenden Aufgabenstellung erfüllt werden. Dementsprechend wurde die Umstellung von TCP auf JMS vorgenommen, RESTful Webservices für die Anmeldung der Benutzer und des Admins implementiert sowie die XA-Transaktion und der Admin-Client umgesetzt.

Darüber hinaus konnten weitere Ergebnisse erzielt werden. So wurde beispielsweise die Oberfläche des Benchmarking-Clients überarbeitet, weitere umgesetzte Features und Details sind Abschnitt blabla zu entnehmen. Zudem wurden, wie in Abschnitt blabla dargestellt, verschiedene Maßnahmen zur Performanceoptimierung ergriffen.

Die abschließenden Benchmarking-Tests bestätigten die Skalierbarkeit und Robustheit der Anwendung.

Als Ergebnis dieser Arbeit stellt die entstandene Anwendung eine gute Grundlage für weitere Entwicklungsschritte dar. Denkbar wären beispielsweise Maßnahmen in Bezug auf die Anwendungssicherheit oder eine weitere serverseitige Modularisierung mithilfe JBoss Swarm oder entsprechender alternativen Technologien. Möglich wäre darauf aufbauend auch die Umsetzung einer Container-basierten Architektur, beispielsweise unter Verwendung von Docker. Damit könnte ein positiver Einfluss auf die Resilienz, Skalierbarkeit und Verfügbarkeit erzielt werden.

Abkürzungsverzeichnis

CMT - Container Managed Transaction X

EJB - Enterprise Java Beans X

JMS - Java Message Service X

JPA - Java Persistence API X

JSON - JavaScript Object Notation X

JSR - Java Specification Request X

MDB - Message Driven Bean X

ORM - Object Relational Mapper X

References

[1] A. Schill und T. Springer, *Verteilte Systeme*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012.

[2] G. Starke, *Effektive Softwarearchitekturen: Ein praktischer Leitfaden*. Carl Hanser Verlag GmbH \& Company KG, 2015.

[3] M. Hapner, R. Burridge, R. Sharma, J. Fialli, K. Stout, und N. Deakin, *The Java Message Service Specification*. Java Specification Request, 2013.

[4] „jms.pdf“. .

[5] M. Hadley und P. Sandoz, „JAX-RS: JavaTM API for RESTful Web Services“, *Java Specif. Req. JSR*, Bd. 311, 2009.

[6] P. Mandl, *Masterkurs Verteilte betriebliche Informationssysteme - Prinzipien, Architekturen und Technologien*, 1. Aufl. VIEWEG+ TEUBNER, 2009.

[7] H. Balzert, *Lehrbuch der Softwaretechnik, Entwurf, Implementierung, Installation und Betrieb*, 3. Aufl. Spektrum, Akademischer Verlag.

[8] U. Hammerschall, *Verteilte Systeme und Anwendungen*. Pearson Education.

[9] „Two-Phase Commit Mechanism“. [Online]. Verfügbar unter: https://docs.oracle.com/cd/B28359\_01/server.111/b28310/ds\_txns003.htm#ADMIN12222. [Zugegriffen: 17-Dez-2016].

[10] „Distributed Logging for Transaction Processing“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.cs.tufts.edu/~nr/cs257/archive/alfred-spector/spector85sigmod.pdf. [Zugegriffen: 17-Dez-2016].

[11] „WildFly 9 Final is released! · WildFly“. [Online]. Verfügbar unter: http://wildfly.org/news/2015/07/02/WildFly9-Final-Released/. [Zugegriffen: 20-Dez-2016].

[12] „WildFly 10 Final is now available! · WildFly“. [Online]. Verfügbar unter: http://wildfly.org/staging/news/2016/01/29/WildFly10-Released/. [Zugegriffen: 20-Dez-2016].

[13] M. Belshe, M. Thomson, und R. Peon, „Hypertext Transfer Protocol Version 2 (HTTP/2)“. [Online]. Verfügbar unter: https://tools.ietf.org/html/rfc7540. [Zugegriffen: 05-Dez-2016].

[14] „Hibernate ORM 5.0 User Guide“. [Online]. Verfügbar unter: https://docs.jboss.org/hibernate/orm/5.0/userguide/html\_single/Hibernate\_User\_Guide.html. [Zugegriffen: 05-Dez-2016].

[15] „The Java Community Process(SM) Program - communityprocess - final“. [Online]. Verfügbar unter: https://jcp.org/aboutJava/communityprocess/final/jsr220/index.html. [Zugegriffen: 17-Dez-2016].

[16] „The Java Community Process(SM) Program - JSRs: Java Specification Requests - detail JSR# 338“. [Online]. Verfügbar unter: https://jcp.org/en/jsr/detail?id=338. [Zugegriffen: 17-Dez-2016].

[17] „Message-Driven EJBs“. [Online]. Verfügbar unter: http://docs.oracle.com/cd/E11035\_01/wls100/ejb/message\_beans.html. [Zugegriffen: 17-Nov-2016].

[18] Oracle Corporation, „JSR 339 - Java Community Process“. [Online]. Verfügbar unter: https://jcp.org/en/jsr/detail?id=339. [Zugegriffen: 16-Dez-2016].

[19] „Distributed Transaction Processing: The XA Specification“. [Online]. Verfügbar unter: http://pubs.opengroup.org/onlinepubs/009680699/toc.pdf. [Zugegriffen: 17-Dez-2016].

[20] „The Java Community Process(SM) Program - JSRs: Java Specification Requests - detail JSR# 907“. [Online]. Verfügbar unter: https://jcp.org/en/jsr/detail?id=907. [Zugegriffen: 17-Dez-2016].

[21] „XA Transactions“, *MariaDB KnowledgeBase*. [Online]. Verfügbar unter: http://mariadb.com/kb/en/mariadb/xa-transactions/. [Zugegriffen: 21-Dez-2016].

[22] R. Steyer, „Behind the scene – der Aufbau von FXML“, in *Einführung in JavaFX*, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014, S. 123–142.

[23] J. Kremer, „Angular, version 2: proprioception-reinforcement“. [Online]. Verfügbar unter: http://angularjs.blogspot.com/2016/09/angular2-final.html. [Zugegriffen: 13-Dez-2016].

[24] Rangle.io, „Why Angular 2? · Rangle.io : Angular 2 Training“. [Online]. Verfügbar unter: https://angular-2-training-book.rangle.io/handout/why\_angular\_2.html. [Zugegriffen: 13-Dez-2016].

[25] Google Inc., „angular/material2“, *GitHub*. [Online]. Verfügbar unter: https://github.com/angular/material2. [Zugegriffen: 13-Dez-2016].

[26] „Code Simplicity » What Is Overengineering?“ [Online]. Verfügbar unter: http://www.codesimplicity.com/post/what-is-overengineering/. [Zugegriffen: 20-Dez-2016].

[27] Google Inc., „Angular Services“. [Online]. Verfügbar unter: https://angular.io/docs/ts/latest/guide/architecture.html#!#services. [Zugegriffen: 16-Dez-2016].

[28] „Latest CDI 2.0 news | Contexts and Dependency Injection“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.cdi-spec.org/. [Zugegriffen: 17-Dez-2016].

[29] Mastertheboss.com, „Configuring message redelivery on JBoss - WildFly“. [Online]. Verfügbar unter: http://www.mastertheboss.com/jboss-server/jboss-jms/configuring-message-redelivery-on-jboss-wildfly. [Zugegriffen: 18-Dez-2016].

[30] Oracle Corporation, „Controlling Message Acknowledgment (The Java EE 6 Tutorial)“. [Online]. Verfügbar unter: https://docs.oracle.com/cd/E19798-01/821-1841/bncfw/index.html. [Zugegriffen: 18-Dez-2016].

Appendix

## Gesamtarchitekturen im Vergleich

Die in Abbildung 4 dargestellte Gesamtarchitektur der Chatanwendung stellt das Ergebnis der beigefügten Anwendung dar. Die Komponenten sind auf Klassenebene dargestellt bzw. bündeln Klassen in logischen Komponenten. Ein Beispiel hierfür ist sind die Komponenten „GUI“, die verschiedene Masken und Controller umfassen. Im Vergleich zu dieser Zielanwendung steht die Architektur der, zu Beginn bereitgestellten Chatanwendung. Diese besitzt keine Verteilung und ist ggf. nicht vollständig, zeigt allerdings den Unterschied.

Abbildung 16: Anwendungsüberblick in Form eines Komponentenmodells





Abbildung 17: Anwendungsüberblick der Ausgangsanwendung in Form eines Komponentenmodells

## Anhang Software

Neben den in der Arbeit beschriebenen Grundprinzipien, der Architektur und Implementierungen sowie den Testergebnissen wurde der Arbeit der Quellcode und Konfigurationsdateien angehängt. Der Anhang umfasst im Detail die folgenden Punkte:

* Alle Maven-Projekte der einzelnen Komponenten
* Alle Konfigurationsdateien des Wildfly 10
* Alle Konfigurationsdateien der MariaDB

## Masken der Clients

### Chatclient Masken

Die Masken des Chatclients wurden auf Benutzerfreundlichkeit vereinfacht und sehen wie folgt aus:



### Benchmarkingclient Masken

Die hier aufgeführten Abbildungen zeigen die verschiedenen Sichten des Benchmarkingclients, welche in unterschiedlichen Tabs liegen. Die Testergebnisse sind hierbei beispielhaft aufgeführt und sind nicht relevant für die in der Arbeit durchgeführten Performance-Tests.



### Adminclient Masken



## Benchmarking-Tests

1. Ursprünglicher Ablauf der Benchmarking-Tests



Abbildung 18 Ablauf des ursprünglichen Benachmarking-Tests

Die Clients starten nicht wie in der Neuimplementierung simultan mit dem Senden der Nachrichten, sondern senden sobald sie initialisiert sind. Zudem wird die ChatPDU für jede zu sendende Nachricht neu erzeugt. Nach dem Versand einer Nachricht wartet der Client auf ein Acknowledgement bevor er wieder sendet. Insgesamt ergibt sich durch den langsameren Sendeprozess eine deutlich geringere Belastung der Queue und der abarbeitenden Threads, da die Nachrichten mit einem größeren zeitlichen Versatz an der Queue eintreffen.

1. Erhobene Daten in Excel

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Anzahl Clients | ØRTT gesamt | RTT max | RTT min | ØRTT Server | RTT SD | ØCPU | Freier Speicher |
| 10 | 47.44 s | 87.80 s | 1.83 s | 0.01 s | 24.19 s | 32.93% | 1016 MB |
| 30 | 103.97 s | 198.82 s | 1.79 s | 0.02 s | 54.93 s | 31.36% | 969 MB |
| 50 | 184.08 s | 351.98 s | 2.23 s | 0.02 s | 93.62 s | 34.39% | 882 MB |
| 75 | 231.74 s | 427.07 s | 2.38 s | 0.02 s | 115.93 s | 36.52% | 820 MB |
| 100 | 345.74 s | 640.59 s | 3.63 s | 0.02 s | 172.89 s | 44.83% | 727 MB |

Tabelle 19: Testdaten in Excel

1. Das Akronym SOLID umfasst die, im Allgemeinen für die Umsetzung einer sauberen Anwendungssoftware, häufig verwendeten Prinzipien „Single responsibility principle“, „Open/closed principle“, „Liskov substitution principle“, „Interface segregation principle“ und „Dependency inversion principle” [2]. [↑](#footnote-ref-1)
2. An dieser Stelle sei festgehalten, dass eine grobe Verteilung sowie entsprechende Sequenzdiagramme bereits durch das Anforderungsdokument gegeben sind und damit nachfolgend lediglich bei einer Abweichung dieser spezifizierten Logik entsprechende Diagramme für die Beschreibung zum Einsatz kommen. [↑](#footnote-ref-2)
3. Das Prinzip „Seperation of concern“ beschreibt die Trennung zwischen Verantwortlichkeiten, Zuständigkeiten oder Aufgaben [2]. Dies wurde weitestgehend versucht, auf allen Ebenen des Entwurfs und der Implementierung einzuhalten. [↑](#footnote-ref-3)
4. Darunter ist die reine Fachlogik zu verstehen. Funktionen, wie eine konsistente Fehlerbehandlung und einem entsprechenden Retry-Mechanismus, sind ebenfalls in diese Komponente ausgelagert. [↑](#footnote-ref-4)
5. Hiermit wird die Komprimierung der Header-Informationen ermöglicht und damit die Latenz verringert [13]. [↑](#footnote-ref-5)
6. Hiermit kommen Vorteile wie die erleichterte Nutzung von Java 8 Typen (bspw. Date, Time, Timestamp), einer neuen Validierungskomponente mittels derer fachliche Validierungen durchgeführt werden können und das Deklarieren einzelner Felder als LAZY, damit diese nur bei einem tatsächlichen Zugriff genutzt werden [14]. [↑](#footnote-ref-6)
7. Dies wird mittels einer Konfiguration der POM aus der Server-Komponente erreicht. Das frei verfügbare *wildfly-maven-plugin* kommt hierfür zum Einsatz. Dieses findet automatisch die entsprechende Wildfly-Instanz und führt bei einem erfolgreichen Maven-Build der Serverkomponente ein deployment aus. [↑](#footnote-ref-7)
8. Unter dem Konzept der FXML ist eine auf XML beruhende JavaFX-Maskenstrukur zu verstehen. Mittels des Entkoppelns vom Code lässt sich die Oberfläche in einer baumartigen Hierarchiestruktur mittels Tools wie bspw. dem Scene Builder von Oracle erstellen [22]. [↑](#footnote-ref-8)
9. Dies wurde durch mehrere Teams festgestellt, weshalb unter Rücksprache nach einer alternativen Testumgebung gesucht wurde. [↑](#footnote-ref-9)
10. Tests mit der Chatanwendung haben uns bestätigt, dass die Queue weniger ausgelastet ist und damit weniger Timeouts auftreten, was sich erheblich auf die Performance auswirkt. [↑](#footnote-ref-10)
11. Statt den Standard von JAX-B zu verfolgen und das Objekt nach XML zu serialisieren, wurde auf JSON gesetzt, da dieses Format in der Regel leichtgewichtiger ist und damit einer höheren Performance zu rechnen ist. Hierfür kommt das Framework Jackson zum Einsatz. [↑](#footnote-ref-11)