



Hochschule
Kaiserslautern
University of
Applied Sciences



Hochschule Kaiserslautern
- FACHBEREICH INFORMATIK UND MICROSYSTEMTECHNIK -

Der Titel der Arbeit

Abschlussarbeit zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science (B.Sc.)

vorgelegt von

Vorname Nachname

12345

Betreuer Hochschule: Prof. Dr.

Betreuer PENTASYS: B. Sc.

Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Dies ist ein Zitat.

verstanden, scheinen nun doch vorueber zu sein. Dies ist der Text sein.
siehe: <http://janeden.net/die-praeambel>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Was ist Reactive Programming	2
2.1	Was bedeutet " <i>reactive</i> " im Kontext der Softwareentwicklung	2
2.1.1	Differenzierung zwischen Reactive Programming und Reactive Systems . .	3
2.2	Reactive Programming vs. Functional Reactive Programming	6
2.3	Wie wird Reactive Programming realisiert?	7
2.3.1	Streams	7
2.3.2	Bulk Operations	8
2.3.3	Back Pressure	8
2.4	Reactive Streams	9
2.5	Überblick über bekannte Frameworks und ihre Eigenschaften	9
2.5.1	ReactiveX	9
2.5.2	Akka	10
2.5.3	Reactor	10
2.6	Testen von reaktivem Code mit dem JUnit Framework	11
3	Einführung in Reactive Programming mit RxJava2	12
3.1	Synchronität und Asynchronität	12
3.2	Parallelisierung und Nebenläufigkeit	13
3.3	Push und Pull	13
3.4	Rx.Observable	14
3.5	Rx.Observer	14
3.5.1	Rx.Subscriber	14
3.6	Operationen und Transformationen	14
3.6.1	Operation filter()	14
3.6.2	Transformation map()	14
3.6.3	Transformation flatMap()	14
3.6.4	Operation merge()	15
3.6.5	Operation zip()	15

4	Beispiel: Implementierung eines Systemmonitors	16
4.1	API für Systemwerte	16
4.1.1	Beschreibung Klasse 1	16
4.1.2	Beschreibung Klasse 2	16
4.1.3	Beschreibung Klasse 3	16
4.1.4	Beschreibung Klasse 4	16
4.2	Client für API: GUI zur Repräsentation der Systemwerte	16
4.2.1	Beschreibung Klasse 1	16
4.2.2	Beschreibung Klasse 2	16
	Literaturverzeichnis	I
	Abbildungsverzeichnis	III
	Tabellenverzeichnis	IV

Kapitel 1

Einleitung

Durch den starken Wachstum der IT entstehen immer wieder neue Möglichkeiten Anwendungen zu realisieren. Durch den technischen Fortschritt werden schon bekannte Muster und Architekturen weiter entwickelt oder Ideen für die neu entstandenen Anforderungen umgesetzt. Eine dieser Ideen ist *REACTIVE PROGRAMMING*. Vor noch nicht allzu langer Zeit waren Monolithen die auf eigens gehosteten Servern ausgerollt wurden der Stand der Dinge. Durch die mittlerweile entstandene Vielfalt an Endgeräten wie Smartphones, das Deployment in der Cloud oder die Menge an spezialisierten Programmiersprachen, Frameworks und Entwicklungswerkzeugen haben sich Anforderungen herausgestellt die sich mit bekannten Lösungen wie zum Beispiel einer objektorientierten Herangehensweise nicht zur vollen Zufriedenheit erfüllen lassen. Für einen Benutzer ist es üblich, dass Änderungen sofort sichtbar sind und angefragte Daten in Bruchteilen einer Sekunde bereit stehen, und das zu jedem Zeitpunkt. Kann eine Applikation dies nicht leisten, kann die User Experience¹ in Mitleidenschaft gezogen werden, was bei der Menge an Diensten gleicher Art dazu führen kann, dass Benutzer auf die Dienste von Mitbewerber zurück greifen. Um diesem vorzubeugen wurde aus vorhandenen Konzepten ein grundlegendes Manifest für *Reaktive Systeme*² erstellt. Die im Manifest angeführten Eigenschaften werden im Verlauf dieser Arbeit noch genauer aufgegriffen. Es sei nur jetzt schon gesagt, dass zur Umsetzung der Kriterien für ein Reaktives System, die Verwendung von Reactive Programming nicht notwendig ist, jedoch meist sinnvoll scheint.

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Einführung in die Welt von Reactive Programming zu geben. Dazu wird im nächsten Kapitel eine Einordnung in das Gesamtbild der Softwareentwicklung durchgeführt. Ebenso werden die Eigenschaften und Eigenheiten von Reactive Programming beschrieben. Weiterhin gibt es einen Überblick über einige Frameworks mit deren Hilfe ein reaktives Programmieren realisiert werden kann. Darauf folgend wird eine Implementierung einer Beispielanwendung besprochen, um dem Vorangegangenen eine praktische Anwendung hinzuzufügen.

¹TODO: User Experience Def

²[Bon14]: Reactive Manifesto 2.0. www.reactivemanifesto.org

Kapitel 2

Was ist Reactive Programming

Ist man neu in der Domäne von reaktiver Entwicklung stellt man schnell fest, dass allerdhand mögliche Definitionen und Beschreibungen findet was Reactive Programming denn zu sein scheint. Bevor jedoch hier eine Definition erläutert wird, muss zwischen unterschiedlichen Begrifflichkeiten differenziert werden: *Reactive Systems*, *Functional Reactive Programming* und natürlich *Reactive Programming*. Vorab wird jedoch ergründet worum es sich grundlegend handelt und wieso es zur heutigen Zeit von Relevanz ist, über die möglichen Verwendung von Reactive Programming zu sprechen.

2.1 Was bedeutet "*reactive*" im Kontext der Softwareentwicklung

Wie die Wortherkunft verlauten lässt, wird etwas als reaktiv bezeichnet, wenn eine Reaktion durch eine vorangegangene Aktion ausgelöst wird. Bei diesen Aktionen handelt es sich meist um Veränderungen an verwendeten Daten und stattfindende Ereignisse(*Events*). Eine gutes Beispiel zur Veranschaulichung ist die Benutzeroberfläche(*GUI - Graphical User Interface*). Ein Benutzer bestätigt eine vorgenommene Eingabe durch das klicken eines Button innerhalb der GUI. Dieses Event sorgt dafür, dass die Applikation einen vorgegebenen Vorgang ausführt. Dieses Vorgehen sorgt in der klassischen objektorientierten Programmierweise mit sequentiellm Ablauf sowie dem imperativen Ansatz grundsätzlich für ein stetig wachsendes Maß an Komplexität. Durch die unterschiedlichen Events die innerhalb der GUI ausgelöst werden können(Mausklick, Tastendruck, usw.) ist ein klassischer imperativer sowie sequentieller Ablauf den Programmcodes nicht realistisch, da kein Entwickler weiß, in welcher Reihenfolge und zu welchem Zeitpunkt ein beziehungsweise welches Event ausgelöst wird. Somit spielt hier die *Inversion of Control*¹, also das Umkehren der Kontrolle, eine große Rolle. Diese besagt, dass nicht der geschriebene Code den Ablauf beschreibt, sondern die Kontrolle bei dem Framework², welches für die Interaktion zuständig ist, liegt, und dieses entscheidet wiederum wie und wann

¹Vgl. [Fow05], <https://martinfowler.com/bliki/InversionOfControl.html>.

²In diesem Fall ein Framework für das Realisieren einer GUI. Vgl. [wik].

auf ein Event reagiert wird. Im Code spiegelt sich das dadurch wider, dass mögliche Reaktionen, meist als Methoden oder Funktionen realisiert, an die möglichen eintreffenden Ereignisse gebunden werden. Dies geschieht über so genannte Event-Handler beziehungsweise Event-Listener oder über die Verwendung von Callbacks³. Ein bewährtes und klassisches Vorgehen bei Anwendungsanforderungen dieser Art ist das schon 1994 von Erich Gamma und seinen Mitstreitern beschriebene Entwurfsmuster⁴, dem *Observer-Pattern*⁵. Man betrachtet hier grundlegend zwei Ansätze: *push* und *pull*.⁶ Auch hier lässt sich wieder die GUI als gutes Beispiel heran ziehen. Man betrachtet eine Oberfläche, welche die Temperatur im Raum anzeigt. Die Temperatur wird als Zahl in Grad Celsius sowie graphisch in einem Balken dargestellt. Obwohl beide Elemente auf die selben Daten zugreifen, stehen programmatisch die Objekte in keinem Zusammenhang. Um nun das Beobachtermuster zu implementieren, muss der sich ändernde Wert, der zum Beispiel von einem Temperatursensor gemessen wird, regelmäßig aktualisiert beobachtet werden. Das Objekt (engl. Subject), welches den Temperaturwert inne hält, wird somit als beobachtbar deklariert, die beiden Objekte, die die Ausgabe per Zahlenwert und der graphische Balken, werden bei diesem Objekt als Beobachter (engl. Observer) registriert. Wenn man den push-Ansatz verfolgt, wird jeder Observer benachrichtigt und das Objekt mit den geänderten Daten steht dem Observer zur Verfügung. Verfolgt man den pull-Ansatz, werden die Observer nur kurz darüber informiert, dass sich Werte innerhalb des zu beobachtenden Objekts geändert haben, müssen jedoch aktiv anfragen, um die geänderten Werte zu erhalten. Je nach Vorgehen ergeben sich Vor- und Nachteile. Der push-Ansatz steht eher für lose Kopplung, da der Observer keine Details zu dem zu beobachteten Objekt braucht. Jedoch sinkt dadurch die Flexibilität, da Observer Interfaces exakter beschrieben werden müssen, damit das Subject weiß, welche Information weiter gereicht werden sollen. Die Kopplung im Vergleich zum pull-Ansatz ist nicht wirklich lose, da jeder Beobachter wissen muss, welche Daten das observierte Objekt repräsentiert und wie auf diese Daten zugegriffen werden kann. Jedoch findet sich hier die Flexibilität wieder, da jeder Beobachter, wenn er Information braucht, exakt diese Daten abrufen kann und sich nicht auf die korrekte Datenverteilung des Subjects verlassen muss.

Nach diesem Abschnitt sollte soweit klar sein, wie man ein reaktives Verhalten mit den schon bekannten Bausteinen realisiert.

2.1.1 Differenzierung zwischen Reactive Programming und Reactive Systems

Das zuvor angesprochene Verhalten bezieht sich nur auf ein Beispiel. Wie jedoch wirkt es sich aus, wenn eine komplette Anwendung unter Verwendung dieses Stils entwickelt wird? Wie

³TODO Beispiel Event-Handler -> ActionEvent, Click on Button; Quellen angeben und Beschreibung zu beiden Codebeispielen

⁴[GHJV11]: Dieses Buch beschreibt viele noch heute verwendete Entwurfsmuster. Die Autoren sind in die Geschichte als die Gang Of Four (*GoF*) eingegangen.

⁵Hier Beispiel vom OP sowie Übersetzung Beobachtermuster; Observer-Pattern und Erklärung

⁶Hier gute Beispiele für push und pull Variante

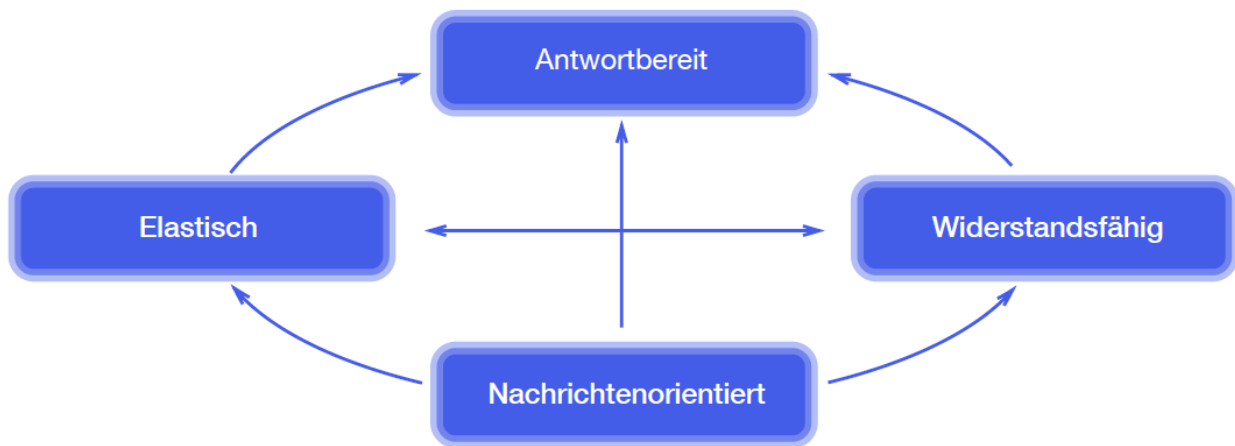


Abbildung 2.1: Die vier relevanten Bestandteile für ein reaktives System. Quelle: <http://www.reactivemanifesto.org/de>

verhält es sich weiter wenn mehrere Teile reaktiv funktionieren und kommunizieren sollen? Der grundlegende Gedanke reaktiver Systeme wurde schon im Jahre 1985 in einem Paper von D. Harel und A. Pnueli beschrieben⁷. Zur heutigen Zeit jedoch bezieht man sich bei Richtlinien zur Gestaltung reaktiver Anwendungen eher auf das Reactive Manifesto⁸. Laut Jonas Bonér und den vielen Unterstützern sind vier Bestandteile essentiell, damit eine Anwendung die Anforderung erfüllt um sich reaktiv zu verhalten. Die Ansicht des Manifest stützt sich auf einen Architekturbeziehungsweise Designstil und soll als Grundlage zur Entwicklung reaktiver Systeme dienen. Die folgenden Erklärungen sind dem Manifest entnommen und sollen einen Verständnis zu den vier Eigenschaften bieten wie sie auch in Abbildung 2.1 aufgezeigt werden. Wie in diesem beschrieben sind Reaktive Systeme:

- **Antwortbereit (engl. responsive):**

Ein System muss immer zeitgerecht antworten. Die Antwortbereitschaft ist die Grundlage für die Benutzbarkeit besagten Systems. Ebenso wird um eine Fehlerbehandlung durchführen zu können eine geregelte Antwortbereitschaft vorausgesetzt.

- **Widerstandsfähig (engl. resilient):**

Ein System muss auch bei Ausfällen die Antwortbereitschaft aufrecht erhalten. Die wird durch Replikation der Funktionalität, der Isolation von Komponenten sowie dem Delegieren von Verantwortung erzielt.

- **Elastisch (engl. elastic):**

Das System muss bei sich ändernden Lasten die Funktionalität und Antwortbereitschaft

⁷[HP85]. Wohl das erste Schriftstück zur Behandlung von reaktiven Systemen

⁸[Bon14]. Das Manifest wird von über 19.000 Menschen unterstützt und gilt als fester Bestandteil der Reactive Development Gemeinschaft und wird auch mit Unterstützung derer immer genauer spezifiziert.

aufrecht erhalten. Ressourcen müssen den auftretenden Lasten, ob steigend oder sinken, angepasst werden können. Ebenso müssen Engpässe innerhalb des Systems unterbunden werden um die Elastizität zu bewahren.

- **Nachrichtenorientiert (engl. message driven):**

Ein loses System soll zur Kommunikation zwischen den Komponenten auf asynchrone, ortsunabhängige Nachrichtenübermittlung zurück greifen. Somit ist nicht relevant auf welchen Rechner die einzelnen Komponenten ausgeführt werden, wodurch wiederum eine gute Skalierbarkeit entsteht.

Das Manifest erwähnt jedoch in keinsten Weise den Zusammenhang von Systemen zum Reactive Programming. Auch aus diesem Grund hat Jonas Bonér einen weiteren Artikel⁹ verfasst, der sich dieser Thematik annimmt. Die grundlegenden Unterschiede wurde in dem Artikel wie folgt zusammengefasst.

- Reactive Programming ist eine Teilmenge von reaktiven Systemen auf Implementierungsebene
- Reactive Programming liefert Leistung und effektive Ressourcennutzung auf Komponentenebene, speziell für Softwareentwickler
- Reaktive Systeme hingegen bieten Robustheit und Elastizität auf Systemebene zur Gestaltung von Cloud-kompatiblen oder verteilten Anwendungen, speziell für Softwarearchitekten oder DevOps
- Es ist von großem Vorteil Reactive Programming innerhalb der Bestandteile von reaktiven Systemen zu verwenden
- Es ist ebenso von Vorteil reaktive Systeme zur Interaktion zwischen reaktiv programmierten Komponenten zu verwenden

Wie aus diesen Punkten klar wird, liegt also der genaue Unterschied zwischen Reactive Programming und Reactive Systems darin, aus welcher Perspektive die Betrachtung stattfindet. Architektonisch wird von Systemen gesprochen, die innerhalb und zur Interaktion mit anderen reaktiv reagiert. Betrachtet man das Ganze aus Entwicklersicht eine Komponente, kann diese unter Zuhilfenahme von reaktivem Programmieren für ein asynchrones, paralleles Verhalten entwickelt werden. Wie Jonas Bonér schon schreibt, ist das Zusammenspiel beider sehr oft hilfreich um das gewünschte Ziel zu erreichen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Unterscheidung von *ereignisorientiert* zu *nachrichtenorientiert*. Nachrichten werden auf Systemebene genutzt. im Gegensatz zu Ereignissen sind Nachrichten klar an einen Empfänger adressiert. Ereignisse treten auf und müssen beobachtet werden um das gewünschte Resultat zu erzielen. Nachrichten sind somit gut geeignet bekannte Empfänger in einem verteilten System, zum Beispiel über das

⁹[Bon].

Netzwerk, zu kontaktieren. Innerhalb der Komponente besteht die Funktion (man denke hier wieder an die Nutzeroberfläche) oft aus der Reaktion auf Ereignisse unterschiedlicher Art die direkt in der Komponente verarbeitet werden sollen. Somit herrscht hier ein ereignisgetriebenes Verhalten.

2.2 Reactive Programming vs. Functional Reactive Programming

Auf der Suche nach einer Definition zu Reactive Programming stößt man oft auf es Begriff Functional Reactive Programming. Teilweise werden die Begriffe sogar synonym verwendet¹⁰. Grundlegend betrachtet man bei den bekannten Programmierparadigmen zwischen imperativen und deklarativen Paradigmen, wobei zum Beispiel die objektorientierte Programmierung im imperativen und funktionale Programmierung im deklarativen Bereich angesiedelt wird. Funktionale Programmierung zeichnet vor allem die Nutzung des Lambda-Kalküls¹¹ aus. Ein Lambda Ausdruck wird in der Mathematik wie folgt dargestellt:

$$\lambda x. x + 2$$

Dieser Ausdruck besagt, dass jeder Wert x auf $x + 2$ abgebildet wird. Statt Rechenanweisungen werden Programme als Menge von Definitionen beschrieben, die mathematisch eine Abbildung von Eingabedaten auf Ausgabedaten darstellt und gleichzeitig selbst aus Funktionsaufrufen zusammengesetzt sind¹². Wird eine funktionale Programmiersprache nun um den relevanten Faktor Zeit erweitert kann ein reaktives Verhalten beschrieben werden. Diese Art der Realisierung nennt man *Functional Reactive Programming*¹³. Dieser Zeitfaktor zeigt sich im Funktionalen in der kontinuierlichen Wertänderung im Laufe der Zeit. Somit kann das Functional Reactive Programming als Teilmenge des Paradigma der reaktiven Programmierung angesehen werden. Die Verwechslung der Begriffe entsteht wenn man sich zum Beispiel Java 8 anschaut. Mit Java 8 nahm die Klasse der Funktionen sowie die Lambda-Ausdrücke Einzug in die objektorientierte Programmiersprache Java. In Java-Code werden Lambda-Ausdrücke wie folgt dargestellt:

```
1 List< Integer > list = Arrays.asList( 1, 2, 3, 4, 5 );
   list.forEach( element -> System.out.println( "Number" + element ) );
```

Listing 2.1: Lambda Beispiel in Java

In 2.1 wird jedes der Listenelemente wird auf die Konsolenausgabe mit konkateniertem String abgebildet. Dadurch wird ein ähnliches Verhalten der funktionalen Programmierung reproduziert. Somit kann innerhalb von Java reaktiv unter Zuhilfenahme von funktionalen Methodiken

¹⁰Vgl.: [Nur17], Seite 2.

¹¹Vgl. [lam], Wiki Eintrag zum Lambda-Kalkül

¹²Vgl. [fun], Wiki Eintrag zur funktionalen Programmierung.

¹³Vgl. [frp], Haskell Wiki zu Functional Reactive Programming

entwickelt werden. Der Unterschied findet sich also genau an der Stelle, dass funktionale Eigenschaften zwar in Java vorhanden sind, dadurch Java allerdings nicht als funktionale Programmiersprache verstanden werden kann, denn auch innerhalb der Objektorientierung kann auf dem imperativen Weg ein reaktives Verhalten entwickelt werden. Faktor Zeit wird im reaktiven Programmieren eher darin reflektiert, dass konkrete Werte im Laufe der Zeit gesendet werden. Reactive Programming kann somit als eine Abstraktion gesehen werden, die sich über die Vorhandenen Paradigmen erstreckt und je nach Situation und Anwendungsbereich auf andere Programmierstile zurück greift.

2.3 Wie wird Reactive Programming realisiert?

Es wurde berichtet was allgemein unter einem reaktiven Verhalten verstanden wird. Ebenso wurde die Begrifflichkeiten und Zusammenhängen zwischen Reactive Programming, Reactive Systems und Functional Reactive Programming erläutert. Es stellt sich jedoch noch die Frage wieso aktuell die Reaktivität von Applikation stark gefordert wird und wie eine Umsetzung davon aussieht. Durch große Datenraten, Datenmengen und vielen vernetzten Geräte und Dienste die zur heutigen Zeit in Umlauf sind, entstehen viele Informationen die verarbeitet werden können beziehungsweise müssen. Durch die vielen Berechnungen und Verarbeitungsschritte die dafür nötig sind, spielt hier das Gesetz von Amdahl eine große Rolle¹⁴. Dieses besagt, dass nie alle Teile eines Programms parallel ausgeführt werden können. Somit lohnt es sich, denn Ablauf in einen sequentiellen und einen parallelen Teil zu zerlegen. Die Blockade die somit noch bleibt, sind die Programmteile die sequentiell abgearbeitet werden müssen und nicht weiter optimiert werden können. Reactive Programming versucht nun eine Lösung abzubilden die den Ablauf innerhalb des parallelen Teils vereinfacht und beschleunigt um eine möglichst geringe Latenz und große Flexibilität und Reaktionsfreudigkeit eines Programms widerzuspiegeln. Ein Ansatz diese Lösung zu realisieren ist die Verwendung von Streams. Die Stream-API wurde wie die Lambda-Funktionalität mit Java 8 eingeführt. Sich veränderte oder neue Daten werden als Ströme betrachtet, die unter Beobachtung stehen und Änderungen sowie Bearbeitung der Daten asynchron und parallel zu den anderen Funktionen einer Anwendung ausgeführt werden können. Damit dieses Verfahren der Datenverarbeitung funktioniert, sind einige Konzepte zu beachten.

2.3.1 Streams

Das Konzept der Streams stellt eine Abstraktion für Folgen von Bearbeitungsschritten auf Daten dar¹⁵. Streams erinnern an Collections sind jedoch nur einmal traversierbar und nehmen keine direkten Speicherung der Daten vor. Collections können auch als Streams repräsentiert

¹⁴Vgl. [Amd07]. Es handelt sich um einen Reprint in der IEEE SSCS News. Auf diesem von Amdahl verfassten Original resultiert das gleichnamige Gesetz.

¹⁵Vgl. [Ind15], Seite 42.

werden. Nahe liegt die verbreitete Analogie der Fließbandverarbeitung. Man hat eine Menge von Objekten die nacheinander gewissen Operationen unterzogen werden. Diese wird einmalig durchgeführt und die Zwischenergebnisse bleiben nicht vorhanden.

2.3.2 Bulk Operations

Diese Operationen gelten als funktional in sind seit Java 8 auf Collections sowie Streams anwendbar¹⁶. Diese Operation müssen nicht separat implementiert werden und können direkt auf Collections oder Streams ausgeführt werden¹⁷. Somit kann durch eine Operation zum Beispiel eine Veränderung an jedem Objekt einer Liste ausgeführt werden, oder eben auf jedem Objekt welches einen Stream durchquert. Die Operation können verkettet werden. Zu beachten ist, dass jede Operation auf einer Kopie des eigentlichen Objekts ausgeführt wird, also bleibt zum Beispiel die Liste unverändert wenn man solch eine Massenoperation auf die Elemente der Liste ausführt. Als Ergebnis wird eine modifizierte Kopie der ursprünglichen Liste geliefert. Auch bei einer Verkettung wird immer nur eine Kopie des Eingangsobjekts modifiziert und weiter gereicht. Dies gilt äquivalent auch für Streams. Erwähnung sollte noch die unterschiedliche Art von Operation finden. Es wird zwischen drei Arten von Operationen unterschieden: *Erzeugung*, *Berechnung* und *Ergebnisermittlung*¹⁸ die sich wie folgt abbilden lassen:

$$\underbrace{Quelle \Rightarrow STREAM}_{Erstellung} \Rightarrow \underbrace{OP_1 \Rightarrow OP_2 \Rightarrow \dots \Rightarrow OP_n}_{Berechnung} \Rightarrow \underbrace{Ergebnis}_{Ergebnisermittlung}$$

Bei der Erzeugung wird von der Änderung der Datenrepräsentation von einem Datentyp einer Collection oder eines Arrays in einen Stream gesprochen. Java bietet hierfür für jeweils Arrays oder Collections Methoden an. Resultieren erhält man einen Stream. Eine Reihe von Berechnungen kann nun verkettet stattfinden, zum Beispiel eine direkte Manipulation oder Filterung nach Kriterien. Sind die Berechnungen abgeschlossen wird das Ergebnis zum Beispiel auf der Konsole ausgegeben oder in einem Datentyp gespeichert.

2.3.3 Back Pressure

Man nehme an, zwei Streams stehen in Verbindung zueinander. Die Bearbeitung der einzelnen Ströme finden asynchron und parallel statt, so wie es bei der reaktiven Programmierung beabsichtigt wird. Der eine Stream führt nun eine kurze Überprüfung durch der zweite führt eine Berechnung durch. Nach dieser Berechnung soll eine Verknüpfung mit dem nächsten Objekt des ersten Streams stattfinden, jedoch ist die Überprüfung doppelt so schnell. Dadurch entsteht ein Rückstau innerhalb des ersten Streams. Dieses theoretische Beispiel zeigt, dass es bei der Arbeit mit vielen asynchronen und parallelen Operationen als sehr wichtig gilt, jede Interaktion

¹⁶Java 8 Buch Referenz finden

¹⁷Beispiel Bulk Operation

¹⁸Vgl.: [Ind15], Seite 42f.

zwischen zweier solcher Programmelemente genau zu kalkulieren. Findet dies nicht statt, kann zum Beispiel ein hoher Ressourcenverbrauch oder ein Programmabsturz die Folge sein.

2.4 Reactive Streams

Festhalten lässt sich somit, dass die Verarbeitung von asynchronen, parallele Streams die Reaktivität generiert. Nach dem anfangs erwähnten Observer Pattern werden die Streams observiert und die Daten werden den Observern publiziert. In der Java Welt wurde die Initiative der *Reactive Streams*¹⁹ geschaffen, um einen Standard für die Verarbeitung von asynchroner Streamverarbeitung mit nicht blockierendem Back Pressure zu etablieren. Das zu bewältigende Problem ist die unterschiedliche Implementierung der bereits existierenden reaktiven Frameworks. Somit soll eine Kompatibilität von reaktiven Komponenten untereinander gesichert werden, auch wenn besagte Komponenten auf unterschiedliche Frameworks basieren. Viele Entwicklerteams von reaktiven Frameworks haben sich mittlerweile dieser Initiative angeschlossen und die Schnittstellen soweit angepasst, dass diese Kompatibilität gewährleistet werden kann²⁰. Einige der hier aufgeführten Frameworks werden in folgendem Abschnitt noch genauer beschrieben. Mit Java 9 wird in der sogenannten *Flow API*²¹ eine Implementierung nach den *Reactive Streams*-Kriterien geliefert. Ein Anwendungsbeispiel wird von der offiziellen Java-Community bereits zur Verfügung gestellt²².

2.5 Überblick über bekannte Frameworks und ihre Eigenschaften

Die Welt der Softwareentwicklung bietet viele unterschiedliche Programmiersprachen für unterschiedliche Anwendungsfelder. Da es den Umfang dieser Arbeit überschreiten würde sich mit allen vorhandenen Frameworks zu den jeweiligen Sprachen zu befassen, wird auch in diesem Abschnitt hauptsächlich die Vielfalt innerhalb des Java Universums behandelt. Insbesondere die Reactor Bibliothek, das Akka Toolkit und die ReactiveX API, speziell RxJava.

2.5.1 ReactiveX

ReactiveX ist ein Open Source Projekt und vereint reaktive Bibliotheken für viele Sprachen und Frameworks unter einem Dach. Die Bibliotheken halten sich an den gleichen Aufbau und Benennung um eine gewisse Konsistenz zu erschaffen. Die erste dieser Bibliotheken wurde unter Leitung von Eric Meijer²³ bei Microsoft entwickelt und nennt sich Rx.NET, als Erweiterung

¹⁹[reaa]

²⁰[rs.]. Auflistung der Frameworks die sich an die Vorgaben der Reactive Streams Initiative binden

²¹[fl.]. Aktuelle Apidoc der Flow-API von Java 9

²²[flo]. Beispiel der Flow-API unter Berücksichtigung der Reactive Streams Initiative

²³Erik Meijer gilt als Erfinder des Reactive Extensions. <https://www.linkedin.com/in/erikmeijer1/>

zum .NET Framework von Microsoft. Das Kürzel *Rx* steht für Reactive Extensions, also reaktive Erweiterung. Folgend wurde von Ben Christensen und Jafar Husain als Entwickler bei Netflix die Erweiterung für Java geschrieben und auf GitHub veröffentlicht. Es folgten viele weitere Implementierungen für zum Beispiel Ruby, Python oder JavaScript. Vorteil von dieser Erweiterung ist die Unabhängigkeit. Somit ist die Bibliothek sehr klein bringt jedoch die nötigen Eigenschaften mit, um asynchrone und nicht blockierende Anwendungen zu entwickeln. ReactiveX sagt über sich, dass die besten Ideen des Beobachtermuster, des Iteratormusters sowie der funktionalen Programmierung hinter ihrer Art der Implementierung steckt. Die schon in Java vorhandenen Klassen wurden überlagert und für ein reaktives Verhalten gerüstet. Aktuell wird RxJava als Version 1 und Version 2 entwickelt. In Version 2 wurden Änderungen vorgenommen um den Vorgaben der Reactive Streams Initiative zu genügen. Da es sich nicht nur um eine Erweiterung sondern um eine Neuentwicklung parallel zu Version 1 handelt, sind im Moment beide Versionen im Entwicklungsstatus. RxJava2 wird in dieser Arbeit als Referenzbibliothek²⁴ verwendet, daher folgt eine genaue Beschreibung in einem weiteren Kapitel. Somit wird auf ein Beispiel in diesem Abschnitt verzichtet.

2.5.2 Akka

Akka bezeichnet sich selbst als Toolkit und nicht als Framework. Es kann wie jede beliebige Bibliothek in ein Java Projekt eingebunden werden. Jedoch ist diese Werkzeugkiste etwas umfangreicher als die Erweiterungen von ReactiveX. Speziell das von Akka eingeführte Actor Modell spielt hier eine Rolle.²⁵ Akka versucht mit seinem Vorgehen die Prinzipien des Reaktiven Manifest und auch der Reactive Stream Initiative umzusetzen.

2.5.3 Reactor

Reactor ist der ReactiveX Erweiterung sehr ähnlich. Die API ist bis auf ein paar Gemeinsamkeiten anders benannt, jedoch ist die Funktionalität fast deckungsgleich. Dies kommt daher, dass die Codebasen von beiden Projekten praktisch identisch sind²⁶. Beide Projekte arbeiten stark zusammen und beide haben schon von den jeweils anderen Implementierungen übernommen. Reactor existiert jedoch nur in der Java Welt und wird in ersten Sinne von Pivotal entwickelt. Dadurch ergibt sich auch die Nutzung in der neuesten Version des Webentwicklungs-Frameworks Spring 5. Die Reactive Bibliothek wird ab Version 5 direkt mit Spring ausgeliefert und soll eine reaktive Reaktion für REST-API's ermöglichen und vereinfachen.

Framework für JavaFX - RxJavaFX

Einführung und Eigenschaften erläutern

²⁴In der Readme des offiziellen Repos (Siehe [rx.]) wird März 2018 schon als Entwicklungsende publiziert. Somit wird in dieser Arbeit auf die zweite Version gesetzt.

²⁵Beschreibung actor Modell, am besten mit Code beispiel

²⁶[Kar16]. Dávid Karnok, Projektleiter RxJava2 und Unterstützer von Reactor.

2.6 Testen von reaktivem Code mit dem JUnit Framework

Noch nichts genaues. Muss noch geschaut werden wie die Funktionalität von JUnit RP abdeckt.

Kapitel 3

Einführung in Reactive Programming mit RxJava2

Der zentrale Baustein dieser Bibliothek ist das Observable Interface im Zusammenspiel mit dem Observer Interface. Ein Observable repräsentiert einen Data- beziehungsweise Eventstream. Es ist für das push-Verfahren konzipiert (reaktiv) kann aber auch mit dem pull-Vorgehen verwendet werden (interaktiv)¹. Weitere Eigenschaften sind die Nutzung für asynchrone und synchrone Implementierungen und die Repräsentation von Null bis unendliche² viele Werte oder Ereignisse im Laufe der Zeit. Es folgt nun eine kurze Schilderung wie diese Eigenschaften erreicht werden bevor die eigentlichen Struktur der Bibliothek veranschaulicht wird. Diese Eigenschaften wurden vom bereits erwähnten Ben Christensen in Kapitel 1 innerhalb des Buches von Tomasz Nurkiewicz ³ beschrieben.

3.1 Synchronität und Asynchronität

Bei dem bisher gelesenen wird schnell klar, dass die Asynchronität ein essentieller Bestandteil sein muss. Jedoch ist das Observable standardmäßig synchron implementiert und ein asynchrones Verhalten muss explizit gefordert werden. Erfolgt eine Subscription eines Observers an einem Observable wird die Weitergabe der Elemente des Streams auf dem Thread des Observers ausgeführt. Ebenso finden die Bulk Operations, also Transformation, Modifikation und Komposition der Elemente oder Streams grundsätzlich synchron statt. Werden also Daten zum Beispiel aus einem Cache geladen und über den Stream zur Verfügung gestellt ist der Standardweg des synchronen Vorgehens vollkommen richtig um den Overhead der expliziten Asynchronität zu umgehen. Finden aber Abfragen zum Beispiel über eine Netzwerkressource statt, die unterschiedliche lange Latenzen aufweist, kann es notwendig sein die Anfragen auf weiteren Threads auszuführen. Dies kann mittels eigens erstellte Threads, Threadpools oder Schedulers umgesetzt

¹Vgl. [Nur17], Seite 4.

²Mathematisch gesehen: $D = [0, \infty)$

³[Nur17]

werden. Somit werden die Callback Methoden des Observers von dem zusätzlichen erstellten Thread aufgerufen und der eigentliche Observer Thread wird nicht weiter blockiert.

3.2 Parallelisierung und Nebenläufigkeit

Wie bekannt sein dürfte ist die Parallelisierung und Nebenläufigkeit eher auf Systemebene zu betrachten. Als parallel bezeichnet man die Ausführung unterschiedlicher Tasks auf verschiedenen Kernen oder Maschinen. Voraussetzung ist die wirklich gleichzeitige Bearbeitung der Tasks. Von Nebenläufigkeit wird gesprochen wenn eine Recheneinheit mehrere Tasks oder Threads verarbeitet und immer nur einer dieser Aufgaben zur einer Zeit bearbeitet wird. Nach einem gewissen Zeitraum bekommt ein anderen Task die Rechenleistung und die vorherige Task wurde beendet wenn die Aufgabe erfüllt wurde oder wartet auf erneute Rechenzeit. Dieses Verfahren wird *time slicing* genannt und wird von Kernel des Betriebssystems verwaltet. Somit ist Parallelisierung immer auch nebenläufig aber Nebenläufigkeit nicht unbedingt auch parallelisiert. Um dieses Verfahren in Verbindung mit den Observables zu bringen ist zu sagen, dass ein Observable Objekt immer serialisiert und thread-safe sein muss. Die Callback-Methoden des Subscribers dürfen also nie zeitgleich aufgerufen werden. Parallelisierung und Nebenläufigkeit werden also dadurch erreicht, dass man Observables miteinander verbindet und jeder der Streams parallel oder nebenläufig mit den jeweils anderen interagieren kann zum Beispiel mit den Bulk-Operations `merge` und `zip`, aber dazu später mehr.

3.3 Push und Pull

Wird synchrones Pulling von Objekten einer Liste über das Iterable Interface durchgeführt, so wird im Gegenzug ein asynchrones Pushing via Observable realisiert. Beide Schnittstellen bieten die gleiche Funktionalität nur der Datenfluss findet in die entgegengesetzte Richtung statt. Durch diese Dualität können beide Vorgehen äquivalent verwendet werden. Will man ein weiteres Objekt einer Liste über den Iterator abfragen, wird die `next()`-Methode aktiv aufgerufen und wenn vorhanden wird ein weiteres Objekt dem Verbraucher zurück gegeben. Hingegen wird bei der Verwendung von Observables die Daten des Streams mit der `onNext()`-Methode⁴ des Verbrauchers gepusht. Wie die Tabelle 3.1⁵ zeigt gilt dies ebenso beim Auftreten eines Fehlers oder beim Erreichen des Endes der Datenquelle. Die Verbindung zwischen Observable und Observer findet über ein Subscription statt. Damit werden die beiden zu einem Paar gebunden und die entsprechenden Methoden des Observers können nun von dem Stream angesprochen werden. Dies beschreibt auch noch eine weitere Eigenschaft. Ein Observable publiziert nur die Ereignisse wenn es jemanden gibt der diese Ereignisse auch fordert. Dies wird auch als *fa-*

⁴Diese Methode wird durch ein Auftreten eines Ereignisses oder von Daten im Stream aufgerufen. Somit handelt es sich bei dieser Art Methode um Callback Methoden.

⁵Quelle: [reab]

Pull (Iterable)	Push (Observable)
T next()	onNext(T)
throws Exception	onError(Throwable)
returns	onCompleted()

Tabelle 3.1: Vergleich zwischen Funktionalität der Iterable- und Observable-Schnittstelle

les Verhalten bezeichnet. Somit wird das Arbeiten durch das Subscriben und nicht durch das Erstellen eines Observables verursacht. Im Vergleich dazu kann ein Objekt vom Typ Future betrachtet werden. Wird ein Future erstellt, wird auf ein Ergebnis gewartet, welches direkt und einmalig asynchron ausgeführt wird und innerhalb des Futures zur Verfügung steht sobald das Ereignis abgeschlossen ist. Ein mehrfaches Ausführen eines Futures ist nicht möglich, anders als beim Observable wo zu jeder Zeit ein weiterer Subscriber hinzu kommen kann. Somit ist ein Observable-Objekt beliebig oft verwendbar.

3.4 Rx.Observable

Interface Übersicht. Nutzen und Anwendung anhand von Beispiel. Hot vs. Cold

3.5 Rx.Observer

Was kann Observer -> Interface Übersicht

3.5.1 Rx.Subscriber

Was ist speziell am Subscriber -> Interface Übersicht

3.6 Operationen und Transformationen

Erläuterung von den Stadien der Operation von Beginn über Mitte bis Ende.

3.6.1 Operation filter()

Beispiel und Perlenbild. Einsatz beschreiben

3.6.2 Transformation map()

Beispiel und Perlenbild. Einsatz beschreiben

3.6.3 Transformation flatMap()

Beispiel und Perlenbild. Einsatz beschreiben

3.6.4 Operation merge()

Beispiel und Perlenbild. Einsatz beschreiben

3.6.5 Operation zip()

Beispiel und Perlenbild. Einsatz beschreiben Eventuell noch mehr Operationen

Kapitel 4

Beispiel: Implementierung eines Systemmonitors

Beschreibung der Funktionen der Anwendung. Überblick über Projekt/Klassenstruktur. Verwendete Tools und Versionen.

4.1 API für Systemwerte

Framework für die Systemwerte kurz erläutern. Grobes Vorgehen beschreiben wie man es in etwa Umsetzen kann.

4.1.1 Beschreibung Klasse 1

4.1.2 Beschreibung Klasse 2

4.1.3 Beschreibung Klasse 3

4.1.4 Beschreibung Klasse 4

4.2 Client für API: GUI zur Repräsentation der Systemwerte

4.2.1 Beschreibung Klasse 1

4.2.2 Beschreibung Klasse 2

Literaturverzeichnis

- [Amd07] AMDAHL, Gene M.: Validity of the Single Processor Approach to Achieving Large Scale Computing Capabilities: Reprinted from the AFIPS Conference Proceedings, Vol. 30 (Atlantic City, N.J., Apr. 18–20), AFIPS Press, Reston, Va., 1967, pp. 483–485, when Dr. Amdahl was at International Business Machines Corporation, Sunnyvale, California. In: *IEEE SSCS NEWS* (2007). <https://people.cs.umass.edu/~emery/classes/cmpsci691st/readings/Conc/Amdahl-04785615.pdf>
- [Bon] BONÉR, Klang V. Jonas: Reactive Programming versus Reactive Systems. <https://info.lightbend.com/reactive-programming-versus-reactive-systems.html>
- [Bon14] BONÉR, Farley Dave Kuhn Roland Thompson M. Jonas: the-reactive-manifesto-2.0. (2014). <http://www.reactivemanifesto.org/>
- [fl.] *Java 9 Doc - Class Flow*. <http://download.java.net/java/jdk9/docs/api/index.html?java/util/concurrent/Flow.html>
- [flo] *Reactive Programming with JDK 9 Flow API*. <https://community.oracle.com/docs/DOC-1006738>
- [Fow05] FOWLER, Martin: *InversionOfControl*. <https://martinfowler.com/bliki/InversionOfControl.html>. Version: 2005
- [frp] *Functional Reactive Programming*. <https://wiki.haskell.org/FRP>
- [fun] *Funktionale Programmierung*. https://de.wikipedia.org/wiki/Funktionale_Programmierung
- [GHJV11] GAMMA, Erich ; HELM RICHARD ; JOHNSON, Ralph ; VLISSIDES, John: *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. 39. printing. Boston : Addison-Wesley, 2011 (Addison-Wesley professional computing series). – ISBN 0201633612
- [HP85] In: HAREL, D. ; PNUELI, A.: *On the Development of Reactive Systems*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 1985. – ISBN 978–3–642–82453–1, 477–498

- [Ind15] INDEN, Michael: *Java 8 - die Neuerungen: Lambdas, Streams, Date And Time API und JavaFX 8 im Überblick*. 2., aktualisierte und erw. Aufl. Heidelberg : dpunkt-Verl., 2015. – ISBN 9783864902901
- [Kar16] KARNOK, Dávid: *Operator-fusion (Part 1)*. <https://akarnokd.blogspot.de/2016/03/operator-fusion-part-1.html>. Version: 2016 (Advanced Reactive Java)
- [lam] *Lambda-Kalkül*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Lambda-Kalk%C3%BC1>
- [Nur17] NURKIEWICZ, Christensen B. Tomasz: *Reactive programming with RxJava: Creating asynchronous, event-based applications*. Sebastopol, CA : O'Reilly, 2017. – ISBN 9781491931653
- [reaa] *Reactive Streams*. <http://www.reactive-streams.org/>
- [reab] *ReactiveX - An API for asynchronous programming with observable streams*. <http://reactivex.io/intro>
- [rs.] *Reactive Streams 1.0.0 is here!* <http://www.reactive-streams.org/announce-1.0.0>
- [rx.] *RxJava: Reactive Extensions for the JVM - offizielles GitHub Repository*. <https://github.com/ReactiveX/RxJava>
- [wik] *List von GUI-Bibliotheken*. https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_GUI-Bibliotheken

Abbildungsverzeichnis

2.1 Die vier relevanten Bestandteile für ein reaktives System. Quelle: <http://www.reactivemanifesto.org>

Tabellenverzeichnis

3.1	Vergleich zwischen Funktionalität der Iterable- und Observable-Schnittstelle	. . .	14
-----	--	-------	----

Listingverzeichnis

2.1 Lambda Beispiel in Java 6