



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 Dies ist der Text sein.
siehe: <http://janeden.net/die-praeambel>

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, **Felix Scheidel**, geboren am [**Geburts-Datum und -Ort**], ehrenwörtlich,

- dass ich meine Bachelorarbeit mit dem Titel:

Reactive Programming - Von der Theorie zum Praxis

selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe und keine anderen als in der Abhandlung angegebenen Hilfen benutzt habe.

- Die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben kann.

Zweibrücken, 20. Juni 2017

Felix Scheidel

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Was bedeutet "<i>reactive</i>" im Kontext der Softwareentwicklung	3
3	Bausteine von Reactive Programming	7
3.1	Observer Pattern	7
3.2	Reactive Streams	8
3.2.1	Java 8 Streams	9
3.2.2	Unterscheidung zu Reactive Streams	10
3.3	Back Pressure	11
4	Unterscheidung von Reactive Systems, Reactive Programming und Functional Reactive Programming	13
4.1	Differenzierung zwischen Reactive Programming und Reactive Systems	13
4.2	Reactive Programming vs. Functional Reactive Programming	15
5	Einführung in Reactive Programming mit RxJava2	17
5.1	Synchronität und Asynchronität	18
5.2	Parallelisierung und Nebenläufigkeit	18
5.3	Push und Pull	18
5.4	Observable	19
5.5	Flowable	21
5.6	Single	23
5.7	Subject	24
5.8	Processor	25
5.9	Schedulers	26
5.10	Operationen	27
5.10.1	Operation filter()	27
5.10.2	Operation map()	28
5.10.3	Operation merge()	29
5.10.4	Operation zip()	30

6	Beispiel: Implementierung eines Systemmonitors	33
6.1	Klassenbeschreibung SystemProvider	33
6.1.1	List< Observable< Double > > fetchCpuValues()	34
6.1.2	Observable< Long > getAvailableMemory()	35
6.1.3	Observable< List< String > > getProcesses()	35
6.2	Klassenbeschreibung MainApplication	36
6.2.1	Node createBarChart()	37
6.2.2	Node createPieChart()	38
6.2.3	Node createProcessList()	38
6.3	Beschreibung des Beispiels	38
7	Evaluierung	43
	Literaturverzeichnis	I
	Abbildungsverzeichnis	III
	Tabellenverzeichnis	V

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 Experience ¹ 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 bedeutet "*reactive*" im Kontext der Softwareentwicklung

Grundlegend wird etwas als reaktiv bezeichnet, wenn eine Reaktion durch eine vorangegangene Aktion ausgelöst wird. Bei diesen Aktionen handelt es sich entweder um Veränderungen an verwendeten Daten oder stattfindende Ereignisse (*Events*). Eine Beispiel zur Veranschaulichung ist die Benutzeroberfläche (*GUI - Graphical User Interface*). Ein Benutzer bestätigt eine vorgegebene 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 klassisch imperativer und sequentieller Ablauf des 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*, also das Umkehren

```
public class Handler implements EventHandler< Event >
{
    @Override
    public void handle( Event arg0 )
    {
        System.out.println( "Event of type: " + arg0.getEventType() );
        arg0.consume();
    }
}
```

Listing 2.1: Implementierung des eigentlichen Event Handlers

der Kontrolle, eine große Rolle [Mar05]. Diese besagt, dass nicht der programmierte Code den Ablauf beschreibt, sondern die Kontrolle bei dem Framework, welches für die Interaktion zuständig ist, liegt, und dieses entscheidet wiederum wie und wann auf ein Event reagiert wird.

Im Code spiegelt es sich dadurch wider, dass mögliche Reaktionen, meist als Methoden oder Funktionen realisiert, an die mögliche eintreffenden Ereignisse gebunden werden. Dies geschieht über so genannte Event-Handler.

Im Listing 2.1 sieht man eine Klasse welche das Event Handler Interface implementiert. Dieses Interface liefert eine Funktion *handle(Event)* die implementiert werden muss. Innerhalb dieser Methode wird die Reaktion auf das aufgetretene Event definiert, in diesem Beispiel soll die Art des Events auf der Konsole ausgegeben werden. In Listing 2.2 wird nun dem einzigen Element der GUI, dem Button, ein Event Handler zugewiesen. Die Parameter besagen, dass jedes auftretenden Mouse-Event den Handler auslöst. Somit wird der Handler an ein auftretendes Ereignis gebunden, und der Programmablauf findet nicht mehr sequentiell statt, sondern das Framework der Oberfläche erkennt das Event und der passende Handler wird aufgerufen. An ein Objekt können mehrere Handler gebunden werden, die auf das gleiche oder unterschiedliche Events reagieren.

```
public class ApplicationRunner extends Application
{
    public static void main( String[] args )
    {
        Application.launch( args );
    }

    @Override
    public void start( Stage arg0 ) throws Exception
    {
        HBox root = new HBox();
        Button button = new Button( "hi, I'm button! Hover over me!" );

        button.addEventHandler( MouseEvent.ANY, new Handler() );

        root.getChildren().setAll( button );
        arg0.setScene( new Scene( root, 180, 40 ) );
        arg0.show();
    }
}
```

Listing 2.2: Klasse zum Anwendungsstart in welcher auch der EventHandler gesetzt wird.

Die Abbildung 2.1 zeigt nun den Button an welchem der Event-Handler registriert wurde. Jedes Mouse-Event welches vom Button erkannt wird, löst diesen Handler aus. Eine Beispielausgabe sieht man in Abbildung 2.2.

Dieses Beispiel veranschaulicht wie grundsätzlich ein reaktives Verhalten einer Anwendung erzeugt wird. Es wird klar, dass Reaktivität somit schon lange in der Softwareentwicklung eine Rolle spielt.

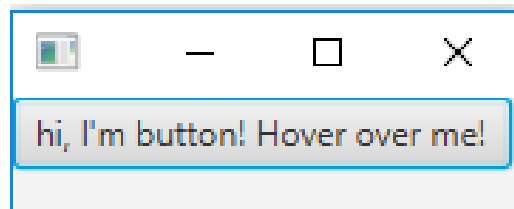


Abbildung 2.1: Anwendung mit Button.

```
ApplicationRunner [Java Application] C:\Dev\j  
Event of type: MOUSE_MOVED  
Event of type: MOUSE_MOVED  
Event of type: MOUSE_MOVED  
Event of type: MOUSE_MOVED  
Event of type: MOUSE_PRESSED  
Event of type: MOUSE_RELEASED  
Event of type: MOUSE_CLICKED  
Event of type: MOUSE_MOVED  
Event of type: MOUSE_EXITED  
Event of type: MOUSE_EXITED_TARGET
```

Abbildung 2.2: Die Konsolenausgabe für die Button Events.

Kapitel 3

Bausteine von Reactive Programming

Durch große Datenraten, Datenmengen und viele vernetzte 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 Rolle [Amd]. Dieses besagt, dass nie alle Teile eines Programms parallel ausgeführt werden können. Deshalb zerlegt man das Programm in einen sequentiellen und einen parallelen Teil. Reactive Programming versucht nun eine Lösung abzubilden, welche die Auslastung der Rechenressourcen optimiert und die Anzahl der Stellen welche serialisiert ablaufen zu verringern [Bon]. Ein Ansatz diese Lösung zu realisieren ist die Verwendung von besagten Reactive Streams. Neu auftretende 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.

3.1 Observer Pattern

Ein bewährtes und klassisches Vorgehen bei Anwendungsanforderungen dieser Art ist das schon 1994 von Erich Gamma beschriebene Entwurfsmuster, dem *Observer-Pattern* [GHJV11]. Auch hier lässt sich wieder die GUI als Beispiel heran ziehen. Man betrachte man eine Oberfläche welche die Temperatur im Raum anzeigt. Um nun das Beobachtermuster zu implementieren, muss der sich ändernde Wert, der zum Beispiel von einem Temperatursensor gemessen wird, beobachtet werden. Dieser Sensor repräsentiert in Abbildung 3.1 eine Implementierung des Subject. Man nehme an auf der GUI soll der Temperaturwert als Balkendiagramm(`BarChartForTemp`), also als Art Thermometer dargestellt werden. Ebenso soll die aktuelle Temperatur in Schrift(`LabelForTemp`) auf der GUI erscheinen. Die beiden Objekte implementieren das Observer-Interface wie in Abbildung 3.1 gezeigt. Dies heißt wiederum, dass diese beiden Observer die *register()*-Methode des Subjects aufrufen und somit in die Observer-Liste dieses Subjects, also dem Sensor, aufgenommen werden. Ändert sich nun zum Beispiel die Temperatur wird die *notifyObservers()*-Methode aufgerufen, was heißt, dass über die Liste der

Observer iteriert wird und die *update()*-Methode jedes Observers aufgerufen wird. Diese Me-

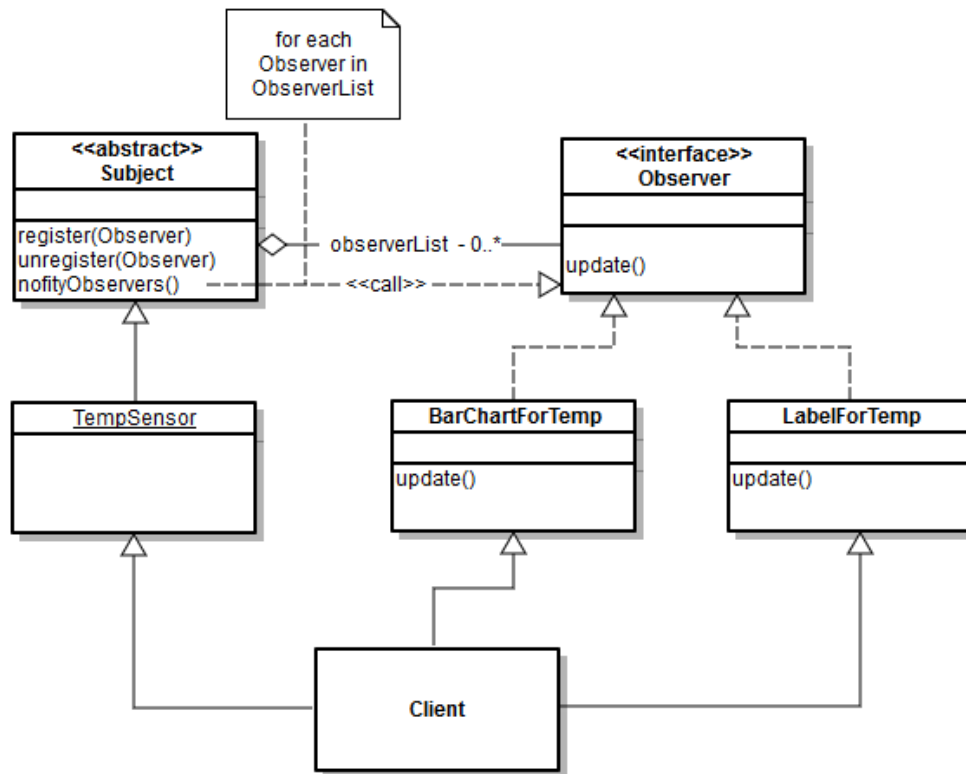


Abbildung 3.1: Schematischer Aufbau eines Observer Patterns.

thoden können nach dem *Push* oder *Pull* Verfahren implementiert werden. Bei Verwendung des Push-Modells wird dem Observer der Wert des geänderten Parameters direkt mitgeteilt. Das Pull-Modell verfolgt den Ansatz, dass der Observer eine Information erhält, dass sich Werte geändert haben, er muss jedoch über die Getter-Methoden die für ihn relevanten Werte aktiv nachfragen. Je nach Vorgehen ergeben sich Vor- und Nachteile. Der Push-Ansatz steht eher für lose Kopplung, da der Observer keine Details des Subject kennen muss. Jedoch sinkt dadurch die Flexibilität, da Observer Interfaces exakter beschrieben werden müssen, damit das Subject weiß, welche Informationen 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.

3.2 Reactive Streams

Nach dem anfangs erwähnten Observer Pattern werden die Streams observiert und die Daten werden den Observern publiziert. Verfügen diese Observable Streams nun über die Funktionalität des Back Pressures ist eine nicht blockierende asynchrone Bearbeitung möglich. Nach diesen

Voraussetzungen wurde in der Welt der JVM die Initiative der *Reactive Streams* geschaffen, um einen Standard für diese Art von Verarbeitung zu etablieren [rsm]. Das zusätzlich zu bewältigende Problem ist die unterschiedliche Implementierung der bereits existierenden reaktiven Frameworks. Durch die Standardisierung 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 kann [rsl]. Mit Java 9 wird in der sogenannten *Flow API* eine Implementierung nach den *Reactive Streams* Kriterien geliefert [flob]. Ein Anwendungsbeispiel wird von der offiziellen Java-Community bereits zur Verfügung gestellt [flob]. Da bereits eine Art von Streams seit Java 8 als API zur Verfügung stehen muss eine Abgrenzung zwischen diesen und den Reactive Streams verdeutlicht werden. Durch die ähnliche Art der Verwendung beider ist eine Verwechslung nicht ausgeschlossen, obwohl unterschiedliche Konzepte realisiert werden. Daher folgt eine kurze Beschreibung der Java 8 Streams und eine allgemeine Unterscheidung zu den im weiteren Lauf verwendeten Reactive Streams.

3.2.1 Java 8 Streams

Das Konzept der Streams stellt eine Abstraktion für Folgen von Bearbeitungsschritten auf Daten dar [Ind15]. Streams erinnern an Collections, sind jedoch nur einmal traversierbar und nehmen keine direkten Speicherung der Daten vor. Collections können auch als Streams repräsentiert werden. Nahe liegt die verbreitete Analogie der Fließbandverarbeitung. Man hat eine Menge von Objekten die nacheinander gewissen Arbeitsschritten unterzogen werden. Diese werden einmalig durchgeführt und die Zwischenergebnisse bleiben nicht vorhanden. In Listing 3.1 sieht man, dass mit dem Methodenaufruf *stream()* auf der Collection ein Stream parametrisiert auf den selben Datentyp wie die Collection erstellt werden kann. Es findet keine Änderung an den einzelnen Elemente statt, denn es wird nur das Ergebnis der Operation ausgegeben.

```
public class StreamsAndBulk
{
    public static void main( String[] args )
    {
        List< String > asCollection = Arrays.asList( "Alpha", "Beta", "Gamma", "
            Delta" );
        Stream< String > asStream = asCollection.stream();
        asStream.map( s -> s.toUpperCase() ).filter( s -> s.contains( "L" ) ).
            forEach( s -> System.out.println( s ) );
    }
}
```

Listing 3.1: Beispiel Erstellung, Verarbeitung und Ergebnisermittlung von Streams.

Bulk Operations

Bulk Operations gelten als funktional und sind seit Java 8 auf Collections sowie Streams anwendbar. Diese Operationen müssen nicht separat implementiert werden und können direkt auf Collections oder Streams ausgeführt werden. Jedoch sind nicht zu beiden Arten die exakt gleichen Operation verfügbar. 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. Als Ergebnis werden die Elemente, zum Beispiel nach der Filterung ausgegeben, oder in einer neuen Liste gespeichert. Auch bei einer Verkettung wird immer nur das Ergebnis weiter gereicht, die Eingangswerte bleiben unverändert. Erwähnung sollten noch die unterschiedlichen Arten von Operationen finden. Man unterscheidet zwischen drei Arten: *Erzeugung*, *Berechnung* und *Ergebnisermittlung* die sich wie folgt abbilden lassen [Ind15] :

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

Bei der Erzeugung wird von der Änderung der Datenrepräsentation von einem Datentyp einer Collection oder eines Arrays in einen Stream gesprochen. Java bietet hier für jeweils Arrays oder Collections Methoden an. Resultierend erhält man einen Stream. Eine Reihe von Berechnungen kann nun verkettet stattfinden, zum Beispiel eine Transformation oder Filterung nach Kriterien. Sind die Operationen abgeschlossen wird das Ergebnis, zum Beispiel auf der Konsole, ausgegeben oder in einem Datentyp gespeichert. Konkret ist der Ablauf in Listing 3.1 zu sehen. Wie vorhin schon erwähnt wird via Methodenaufruf eine Stream-Repräsentation der Collection geschaffen. Die Berechnung beziehungsweise Bearbeitung findet in der Konkatenation der Operation *map()* und *filter()* statt. Zuerst wird jeder String in Großbuchstaben transformiert, und das Ergebnis an die Filter-Operation weitergegeben. Anschließend wird gefiltert ob der String den angegebenen Kriterien genügt. Die Ergebnisermittlung findet in der *forEach()*-Methode statt, da hier jedes Element, das nach dem filtern noch übrig ist, auf die Konsole geschrieben wird. Es können beliebig viele Stream-Objekte von einer Collection erstellt werden, jedoch ist die Traversierung, und somit die Verwendung, eines Streams nur einmalig möglich.

3.2.2 Unterscheidung zu Reactive Streams

Die vorab beschriebenen Streams und die dazugehörigen Operationen funktionieren durch die Verwendung des Pull-Verfahrens. Mittels Iterator wird immer ein weiteres Element von der Datenquelle geholt und darauf die Operationen angewandt. Diese Streams sind nur einmalig verwendbar. Wird von Reactive Streams gesprochen gelten diese Eigenschaften nicht. Es wird nach dem Push-Verfahren gehandelt, was heißt, das nicht mit dem Iterator gearbeitet wird. Auch müssen diese Streams nicht endlich sein, was wiederum heißt, dass die Anzahl der Elemente nicht vorab bekannt sein muss. Zusätzlich ist eine mehrfache Verwendung dieser Reactive Streams möglich. Die Bulk Operations sind auch auf Reactive Streams möglich, es liegen jedoch

viele weitere Operationen vor die speziell für die Verwendung des Push-Verfahrens implementiert wurden. Diese signifikanten Unterschiede zeigen, dass wenn auch in beiden Fällen von Datenströmen gesprochen wird, der grundlegende Gedanke wie mit Streams umgegangen wird ein anderer ist.

3.3 Back Pressure

Der weitere wichtige Aspekt der Reactive Streams ist die bereits erwähnte Eigenschaft des nicht blockierenden Back Pressures. Man betrachtet hier den Push-Ansatz. Ein Producer generiert Daten, die ein Consumer verarbeitet. Es kann nun passieren das mehr Daten produziert werden als konsumiert werden können. Wird darauf nicht reagiert, kann es zu starken Ressourcenproblemen oder zu einem Programmabsturz durch einen *OutOfMemoryError* kommen. Um dies zu verhindern, benötigt man eine Möglichkeit, die Anzahl der zu verarbeitenden Objekte zu regulieren. Ein sogenannter *Feedback Channel* steht dafür zur Verfügung. Über diesen kann ein Consumer seinem Producer mitteilen, mit wie vielen Objekten er maximal umgehen kann. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit auf Seiten des Producers seine Datenbeschaffung und Datenweitergabe zu regulieren, sodass der Producer zu jeder Zeit verwendbar bleibt und nicht blockiert. Dies geschieht zum Beispiel über einen zusätzlichen Puffer an Ausgang des Producers, wodurch die direkte Datenweitergabe verzögert werden kann. Dies besteht jedoch nur, wenn es dem Producer auch möglich ist, seine Geschwindigkeit zu steuern. Zu beachten ist, dass grundsätzlich jeder Consumer über einen Eingangspuffer verfügt, in welchem die geforderten Objekte zwischen lagern. Wird der Back Pressure nicht richtig behandelt oder die Puffer fehlerhaft konfiguriert, kann es zu eine *MissingBackPressureException* kommen.

Kapitel 4

Unterscheidung von Reactive Systems, Reactive Programming und Functional Reactive Programming

Im Zusammenhang mit Reactive Programming treten weitere Begriffe auf, die auch das Schlüsselwort *reactive* in ihrer Bezeichnung tragen. Die *Reactive Systems* sowie das *Functional Reactive Programming*. In diesem Kapitel wird eine Differenzierung dieser Begriffe von Reactive Programming durchgeführt. Ebenso soll dadurch eine Einordnung von Reactive Programming in den Kontext der Softwareentwicklung vereinfacht werden.

4.1 Differenzierung zwischen Reactive Programming und Reactive Systems

Bislang wurde von einem reinen Vorgehen für eine passende Implementierung gesprochen. Wie jedoch wirkt es sich aus, wenn eine komplette Anwendung reaktiv reagieren soll? Wie 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 beschrieben [HP85]. Zur heutigen Zeit jedoch bezieht man sich bei Richtlinien zur Gestaltung reaktiver Systeme eher auf das Reactive Manifesto [Bon14]. Laut Jonas Bonér und den vielen Unterstützern sind vier Bestandteile essentiell, damit eine Anwendung die Anforderung erfüllt um als reaktiv zu gelten. Die Ansicht des Manifests 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 4.1 aufgezeigt werden. Wie in diesem beschrieben sind Reaktive Systeme:

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

Ein System muss immer zeitgerecht antworten. Die Antwortbereitschaft ist die Grund-

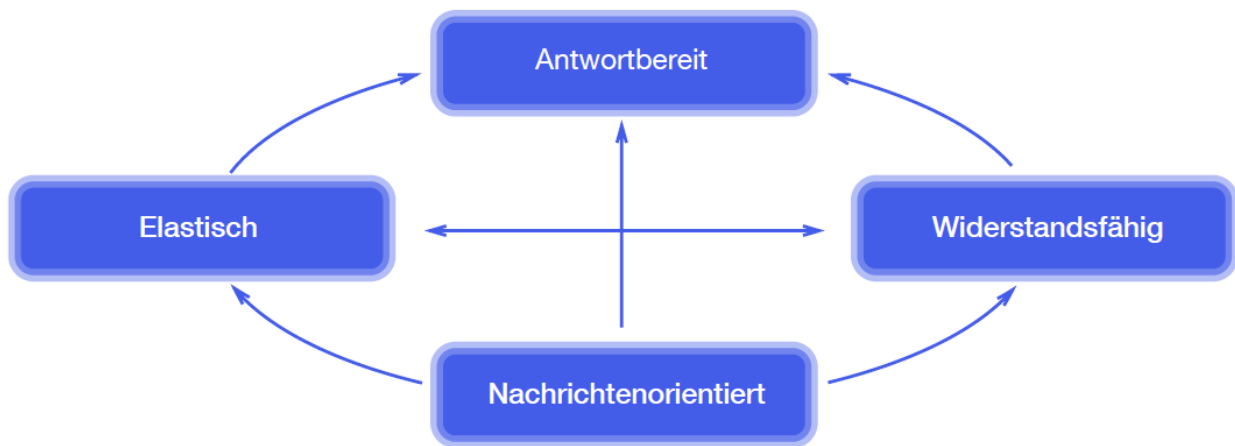


Abbildung 4.1: Die vier relevanten Bestandteile für ein reaktives System. Quelle [Bon14]

lage 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. Dies wird durch Replikation der Funktionalität, der Isolation von Komponenten sowie dem Delegieren von Verantwortlichkeiten erzielt.

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

Das System muss bei sich ändernden Lasten die Funktionalität und Antwortbereitschaft aufrecht erhalten. Ressourcen müssen den auftretenden Lasten, ob steigend oder sinkend, 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 erreicht werden kann.

Das Manifest beschreibt jedoch nicht den Zusammenhang von Reactive Systems zum Reactive Programming. Wohl aus diesem Grund hat Jonas Bonér einen weiteren Artikel verfasst, der sich dieser Thematik annimmt [Bon]. 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, also der Möglichkeit eine schnelle und qualitativ hochwertige Software zu entwickeln und auszurollen.
- 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 in Bezug auf eine Komponente, kann diese unter Zuhilfenahme von Reactive Programming 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 Netzwerk, zu kontaktieren. Innerhalb der Komponente besteht die Funktion (man denke hier wieder an die N Benutzeroberfläche) oft aus der Reaktion auf Ereignisse unterschiedlicher Art die direkt in der Komponente verarbeitet werden sollen. Somit herrscht hier ein ereignisgetriebenes Verhalten.

4.2 Reactive Programming vs. Functional Reactive Programming

Auf der Suche nach einer Definition zu Reactive Programming stößt man oft auf den Begriff Functional Reactive Programming. Teilweise werden die Begriffe sogar synonym verwendet [NC17]. Grundsätzlich 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-Kalküls aus [lam]. 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 sind [fpw]. Wird eine funktionale Programmiersprache nun um den Faktor Zeit erweitert kann ein reaktives Verhalten erreicht werden. Diese Art der Realisierung nennt man Functional Reactive Programming [hsk]. Dieser Zeitfaktor zeigt sich im Funktionalen in der kontinuierlichen Wertänderung im Laufe der Zeit. 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: In Listing 4.1 wird jedes der Listenelemente

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

Listing 4.1: Lambda Beispiel in Java

auf die Konsolenausgabe mit konkateniertem String abgebildet. Dadurch wird ein ähnliches Verhalten der funktionalen Programmierung reproduziert. Somit sind funktionale Eigenschaften zwar in Java vorhanden, trotzdem kann Java nicht als funktionale Programmiersprache verstanden werden. Wird auch hier nun der Faktor Zeit mit betrachtet, kann darin der essentielle Unterschied ausgemacht werden. Wird beim Functional Reactive Programming von einer Wertänderung im Laufe der Zeit gesprochen, ist beim Reactive Programming von konkreten Werten zu sprechen die im Laufe der Zeit ausgegeben werden. Also findet keine Änderung des Wertes statt, es werden neue Werte über einen Zeitraum weiter gereicht.

Kapitel 5

Einführung in Reactive Programming mit RxJava2

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 schaffen. Die erste dieser Bibliotheken wurde unter Leitung von Erik Meijer bei Microsoft entwickelt und nennt sich Rx.NET, als Erweiterung zum .NET Framework von Microsoft. Das Kürzel *Rx* steht für Reactive Extensions, also reaktive Erweiterungen. 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. Die Bibliothek der Reactive Extensions ist 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 Beobachtermusters, 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 Asynchronität und der Verwendung des Back Pressures 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 Referenzbibliothek verwendet.[rxg].

Der zentrale Baustein dieser Bibliothek ist die Observable-Klasse 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-Verfahren verwendet werden (interaktiv) [NC17]. Es folgt nun eine kurze Schilderung wie die wichtigsten Eigenschaften erreicht werden bevor die eigentlichen Struktur, im Genauen eine Beschreibung der Basisklassen der Bibliothek, veranschaulicht wird. Diese Eigenschaften wurden vom bereits erwähnten Ben Christensen in Kapitel 1 innerhalb des Buches von Tomasz Nurkiewicz beschrieben [NC17].

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

5.2 Parallelisierung und Nebenläufigkeit

Parallelisierung und Nebenläufigkeit sind vor allem auf Systemebene zu betrachten. Nebenläufigkeit besagt, dass mehrere Tasks gleichzeitig ausgeführt werden können. Findet diese Bearbeitung auf physisch unterschiedlichen Kernen zur gleichen Zeit statt, spricht man von paralleler Ausführung. Ist jedoch nur ein Kern vorhanden, oder Tasks werden trotz mehrerer Kerne auf nur einem ausgeführt, findet eine sequentielle Abarbeitung statt. Der Kernel des Systems bringt hierfür die Funktion des *time-slicing* mit. Diese regelt wann welcher Task Rechenzeit zugewiesen bekommt. Um dieses Verfahren in Verbindung mit den Observables zu bringen gilt, dass ein Observable Stream immer serialisierbar und thread-safe sein muss. Die Callback-Methoden des Subscribers können also nie zeitgleich aufgerufen werden. Dieser Vertrag muss eingehalten werden, um die Funktionalität des Observables zu gewährleisten.

5.3 Push und Pull

Wird Pulling von Objekten einer Liste über das Iterable Interface durchgeführt, so wird im Gegenzug 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()`-Methode des Verbrauchers gepusht. Wie die Tabelle 5.1 zeigt gilt dies ebenso beim Auftreten eines Fehlers oder beim Erreichen

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

Tabelle 5.1: Vergleich zwischen Funktionalität der Iterable- und Observable-Schnittstelle.

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 anfordert. Dies wird auch als *Lazy Initialization* bezeichnet. Somit wird das Arbeiten durch das Subscriben und nicht durch das Erstellen eines Observables angestoßen. 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. Durch dieses Verhalten wird die Wiederverwendbarkeit des Observables erreicht.

5.4 Observable

Es wurde in den vorherigen Abschnitten schon einiges über das Observable-Objekt gesagt, doch der Vollständigkeit halber wird hier seine Eigenschaften und Fähigkeiten zusammengefasst beschrieben. Es handelt sich hierbei um das Kernelement der RxJava Bibliothek. Ein Ereigniss-

```
public static void main(String[] args)
{
    Observable<String> obs0 = Observable.just("Java", "Kotlin", "Scala");
    obs0.subscribe(s -> {System.out.println(s)};,
        t -> {t.printStackTrace()};,
        () -> {System.out.println("finish");} );
}
```

Listing 5.1: Beispiel Observable Initialisierung und Subscription

strom über einen Zeitraum wird von einem Observable repräsentiert. Dieser Ereignisstrom ist jedoch variabel. Weder muss die Anzahl der auftretenden Ereignisse bekannt sein, noch müssen diese in einem geregelten Intervall auftreten. Ebenso wenig muss der Zeitraum begrenzt sein, was bedeutet, dass es sich auch um unendliche Eventstreams handeln kann. Die Tabelle 5.1 zeigt die Methodenaufrufe die eine Observable auslösen kann. Somit wird auch klar, dass nur drei Arten von Events auftreten können. Eine beliebige Anzahl von *onNext(T)*-Methodenaufrufen

mit dem Eventtyp T, das einmalige Event der Fertigstellung mit dem *onComplete()*-Aufruf oder das Aufkommen eines Fehlers mit der *onError(Throwable)*-Methode. Somit gilt:

$$OnNext * (OnComplete|OnError)?$$

Daraus resultiert, dass entweder ein gewolltes Ende, oder ein unvorhergesehener Fehler auftritt, aber niemals beides¹. Schaut man sich nun Listing 5.1 an, sieht man den Ablauf. Ein Observable wird initialisiert, hier mit drei Elementen, also ein endlicher Stream. Durch das *subscribe* wird anonym ein Subscriber erzeugt. Bei dem ersten Lambda-Ausdruck handelt es sich um die *onNext()*-Methode. Weiter geht es mit *onError()* und *onComplete()*. Man sieht bei einem fehlerfreien Durchlauf die drei Elemente auf der Konsole und ebenso die Ausgabe für das beenden des Streams. Würde ein Fehler auftreten würde die Ausgabe der Elemente beendet werden und der Stacktrace würde ausgegeben werden, statt des *finish*-Strings. Auch wurde schon ein wichtiger Punkt angeschnitten, nämlich dass zu jeder Zeit ein neuer Subscriber hinzu kommen kann. Jeder Subscriber erhält einen separaten Observable-Stream. Observables mit dieser Eigenschaft nennt man auch *Cold Observable*. Wie hier in Listing 5.2 zu sehen werden zwei Objekte des

```
System.out.println( "————Cold Observable————" );
Observable< Long > obs = Observable.interval( 1, TimeUnit.SECONDS );
obs.subscribe( s -> System.out.println( s ) );
Thread.sleep( 1000 );
obs.subscribe( s -> System.out.println( s ) );
Thread.sleep( 5000 );
```

Listing 5.2: Beispiel Cold Observable

Observable-Streams erstellt. Es ist zu beachten, dass somit jeder Subscriber einen eigenen Timer bekommt. Will man nun aber die beiden Rechenoperationen immer auf den selben Wert durchführen wird es auf diesem Wege nicht funktionieren. Somit muss es die Möglichkeit geben diese Informationen zu teilen. Der Methodenaufruf *publish()* ist hier der Schlüssel. In Listing 5.3 sieht man diesen Aufruf, nachdem das Intervall gestartet wird. Durch diesen Aufruf erhält man eine besondere Form des Observables, das *ConnectableObservable*. Grundsätzlich hat sich am Aufbau des Observables nichts geändert, jedoch beginnt das Ausgeben der Daten nicht durch eine Subscription, sondern durch das Aufrufen der *connect()*-Methode. Durch diese Eigenschaft wird das Observable zu einem sogenannten *Hot Observable*. Schaltet sich nun ein Subscriber auf den Stream beginnt er mit den Werten der zu diesem Zeitpunkt ausgegeben wird. Die schon vergangenen Events sind für den Subscriber nicht mehr zu erreichen. Es macht zum Beispiel Sinn, wenn eine Mausbewegung getrackt wird, da neue Subscriber nicht wissen müssen wo sich der Mauszeiger vorher befand, denn es ist nur wichtig wo sich der Zeiger aktuell befindet. Je nach Problemstellung ist das eine oder das andere von Vorteil. Ist es entscheidend eine konsistente und vollständige Abarbeitung von Events durchzuführen greift man auf Cold Observables

¹pdf in bib aufnehmen und zum regex binden

```

System.out.println( "-----Hot Observable-----" );
Observable< Long > observable = Observable.interval( 1, TimeUnit.SECONDS )
;
ConnectableObservable< Long > connectable = observable.publish();
connectable.connect();
Thread.sleep( 5000 );
connectable.subscribe( s -> System.out.println( s ) );
Thread.sleep( 5000 );
connectable.subscribe( s -> System.out.println( s ) );
Thread.sleep( 10000 );

```

Listing 5.3: Beispiel Hot Observable

zurück. Handelt es sich um einen Stream über den man keine konkrete Kontrolle hat, wie ein Stream für Ein- und Ausgabe, wird man meist Hot Observables verwenden.

Ein Punkt welcher das Observable nicht vollständig abdeckt ist der Back Pressure. Es sind keine Möglichkeiten enthalten aktiv auf Back Pressure reagieren zu können. Wie schon erwähnt ist seit Version 2 der RxJava Bibliothek eine Implementierung diese Möglichkeit nach Richtlinien der Reactive Stream Initiative vorhanden. Dies wurde in der Klasse *Flowable* implementiert.

5.5 Flowable

Diese Klasse ist nach den Kriterien der Reactive Streams realisiert, was wiederum heißt, eine asynchrone Bearbeitung ohne blockender Back Pressure muss möglich sein. Durch die Implementierung *org.reactivestreams.Publisher<T>* des Publisher Interfaces wird die Handhabung des Back Pressures ermöglicht, und da auch die Funktionalität des Observables vorhanden ist, kann eine Bearbeitung asynchron stattfinden. In der offiziellen Dokumentation von RxJava2 wird beschrieben wann es sich besser eignet auf Observables oder aber auf Flowables zu setzt [rx2]. Wann sollte man Observables nutzen:

- Wenn im Datenfluss nicht mehr als 1000 Elemente auftreten, es somit als keine Chance für einen *OutOfMemoryError* gibt.
- Wenn GUI Events behandelt werden. Diese können durch ihr unregelmäßiges Aufkommen schlecht gepuffert werden. Außerdem ist das Auftreten meist geringfügig. Elemente in der Auftrittshäufigkeit von maximal 1000 Hz sollten zu bewältigen sein.
- Wenn die Plattform keine Streams unterstützt, also die Java Version diese noch nicht bereit stellt. Grundsätzlich bringen Observables weniger Overhead mit sich.

Wann sollte man Flowables nutzen:

- Wenn mehrere Tausende Elemente generiert werden und die Möglichkeit vorhanden ist mit der Quelle zu kommunizieren um bei fehlendem Back Pressure die Frequenz zu regeln.

- Beim Lesen von der Festplatte. Dies geschieht blockierend und mit dem Pull-Ansatz, was sich hervorragend eignet um die Elemente als Back Pressure zu puffern.
- Beim Lesen aus der Datenbank. Auch dieser Zugriff funktioniert mit dem Pull-Ansatz und blockiert. Also wieder von Vorteil mit einem Puffer zu arbeiten.
- Kommunikation über ein Netzwerk. Hierbei kann, sofern unterstützt, eine logische Menge an Elementen angefragt werden welche im Puffer gesichert wird. Die gepufferten Elemente können nun stetig abgearbeitet werden.
- Weiter blockierende auf Pull-basierenden Datenquellen deren API eventuell in Zukunft auch auf ein reaktives Verhalten umgestellt werden. Hier liegt der Vorteil in der Reactive Streams Konvention die voraussichtlich auch in Zukunft verwendet wird.

```
Flowable< String > flowing = Flowable.just( "Java", "Kotlin", "Scala" );
flowing.onBackpressureBuffer( 3 ).subscribe( s -> {
    System.out.println( s );
}, t -> {
    t.printStackTrace();
}, () -> {
    System.out.println( "finish" );
} );
DefaultSubscriber< String > sub = new DefaultSubscriber< String >()
{
    @Override
    public void onStart()
    {
        request( 1 );
    }

    @Override
    public void onNext( String t )
    {
        System.out.println( t );
        request( 1 );
    }
}
flowing.subscribe( sub );
```

Listing 5.4: Beispiel Flowable mit BackPressureBuffer

Jedes Observable und Flowable Objekt besitzt einen Puffer um nicht verarbeitete Daten zwischen zu speichern. Diese Größe beträgt bei Flowables standardmäßig 128 Objekte, kann jedoch geändert werden. Bei Observables ist dieser Puffer dynamisch und kann wenn nötig den kompletten Speicher beanspruchen. Betrachtet man das Listing 5.4 sieht man den Aufruf der *onBackpressureBuffer()*-Methode. Diese Methode bietet ein Observable-Objekt nicht. Es handelt

sich um eine Implementierung des Publisher-Interfaces. Hiermit kann direkt eine Puffergröße für jedes Flowable festgelegt werden. Kann nun ein Subscriber also nur eine gewisse Anzahl von Elementen verarbeiten, kann über den bereits erwähnten Feedback-Kanal des Flowable informiert werden, die Objekte wenn möglich langsamer auszugeben. Die Verzögerung wird durch den zusätzlichen Puffer der *onBackpressureBuffer()*-Methode ermöglicht. In diesem Beispiel wäre dieser Aufruf nicht notwendig doch zur Veranschaulichung wurde er hinzugefügt. Da auch die Anzahl der Elemente bekannt ist, kann der Puffer natürlich genau auf die Anzahl der Elemente festgelegt werden. Um nun die Verwendung des Feedback-Kanals noch zu betrachten, wurde das Beispiel um einen *DefaultSubscriber* erweitert. Durch den Aufruf der *onStart()*-Methode wird direkt zu Beginn der Subscription durch den *request(1)* Aufruf die vertragliche Menge des Subscribers weiter gegeben. Ebenso findet diese Anfrage auch beim Aufruf jedes *onNext()* Callbacks statt. Durch diesen Aufruf erfährt das Flowable, dass immer nur ein Element an den Subscriber ausgegeben werden soll. Die beiden weiteren Elemente würden nun im BackPressureBuffer unterkommen und bei weiteren Anfragen zur Verfügung gestellt werden. Wie schon erwähnt ist dies in diesem kurzen Beispiel jedoch nicht nötig und dient nur zur Erklärung der Funktionsweise.

5.6 Single

Wo Observables oder Flowables eine Menge von Null bis endliche viele Elemente ausgeben, steht Single, wie der Name schon sagt, dafür, dass immer nur einmal auf ein Event reagiert werden kann. Somit sind auch die drei bekannten Methoden zur Datenausgabe hier nicht notwendig. Stattdessen sind nur zwei Methoden vorhanden, *onSuccess()* und *onError()*. Auch hier gilt, dass immer nur eine der Methoden aufgerufen werden kann. Also eine erfolgreiche Datenausgabe oder eine fehlerbehaftete. Anschließend werden die Subscriptions gelöst und das Single wird beendet. Auch hier sind wieder eine Reihe von Bulk Operations möglich. In Listing

```
public static void main(String[] args)
{
    Single<String> single = Single.just("Covfefe");
    single.map(s -> s.length()).subscribe(
        element -> {System.out.println("Length: " + element);},
        error -> {error.printStackTrace();}
    );
}
```

Listing 5.5: Beispiel eines Singles

5.5 sieht man die Verwendung eines Single-Objekts. Es kann nur mit einem Objekt erstellt werden, die Bearbeitung dieses Elements findet wieder mit einer Auswahl an bekannten Operationen statt. In der *subscribe()*-Methode sieht man die zwei Lambda-Ausdrücke die wieder die

möglichen Methodenaufrufe, also bei Erfolg oder Fehlerfall, repräsentieren. Ein Beispiel für die Verwendung von Single findet sich zum Beispiel bei einer HTTP-GET Anfrage. Man möchte ein Objekt abrufen, und sobald es angekommen ist, soll es verwendet werden. Da dieser Aufruf für immer nur ein Objekt stattfindet, lohnt sich hier die Verwendung des Singles. Geht die Anfrage raus muss nicht gewartet werden, und sobald das Ergebnis eingetroffen ist, wird die *onSuccess()*-Methode aufgerufen oder eben im Fehlerfall die *onError()*-Methode.

5.7 Subject

Als Subject versteht man ein Objekt, dass sowohl als Observable und auch als Observer fungieren kann. Es kann an ein Observable subscriben, diese Daten verarbeiten und seinen eigenen Subscribern weiterleiten. Um das Vorgehen bei Verwendung eines Subject zu veranschaulichen

```
public class SubjectExample
{
    public static void main(String[] args)
    {
        Observable<String> obs0 = Observable.just("Java", "Kotlin", "Scala");
        Subject<String> subj = PublishSubject.create();
        subj.map(s -> s.toUpperCase()).subscribe(s -> {System.out.println(s);});
        obs0.subscribe(subj);
    }
}
```

Listing 5.6: Beispielverwendung eines Subjects

betrachtet man Listing 5.6. Es wird wieder das schon bekannte Observable-Objekt erstellt, hinzu kommt ein Subject, hier speziell eines vom Typ `PublishSubject`. Dieses Subject bekommt eine Subscription in welcher alle String-Werte in Großbuchstaben umgewandelt und anschließend auf der Konsole geschrieben werden. Wenn nun das Subject selbst an dem vorhandenen Observable subscribed, werden die von diesem ausgegebenen Werte gemapped und an die Subscriber des Subject weitergegeben. Zusätzlich zum `PublishSubject` stehen noch drei weitere Arten zur Verwendung bereit:

- AsyncSubject: Ein `AsyncSubject` gibt seinen Subscribern nur den letzte Wert der Quelle weiter, und das auch nur falls das Quell-Observable beendet wurde. Endet es durch einen Fehler wird die Fehlermeldung direkt an die Subscriber des Subjects weiter gereicht.
- BehaviorSubject: Ein `BehaviorSubject` beginnt sobald es einen Subscriber verzeichnen kann mit der Übermittlung des letzten Wertes der Quelle, oder mit einem Standardwert falls von der Quelle noch nichts ausgegeben wurde. Anschließend werden alle weiteren Werte weitergegeben. Auch hier wird bei Auftreten einen Fehler die Meldung direkt durchgereicht.

- PublishSubject: Ein PublishSubject überträgt genau die Werte, die von seiner Quelle in dem Zeitraum, in welchem auch eine Subscription vorliegt, ausgegeben wurden. Alles vorherige wird nicht übermittelt. Somit liegt ein Verhalten eines Hot-Observables vor.
- ReplaySubject: Ein ReplaySubject überträgt an jeden Subscriber alle Werte die jemals von seiner Quelle ausgegeben wurden. Dieses Vorgehen bedarf eines Puffers, was bei fehlerhafter Verwendung zu einem BackPressure-Fehlverhalten führen kann.

Auch hier wurde auf Grund der Konformität zur Reactive Streams Initiative eine weitere Klasse implementiert, welche die Möglichkeit bietet aktiv auf Back Pressure zu reagieren. Die Processor-Klasse.

5.8 Processor

Was das Flowable für das Observable ist, stellt der Processor für das Subject dar. Eine Implementierung um den Anforderungen der Reactive Streams gerecht zu werden. Die Kompatibilität und das Handling des Back Pressures stehen auch hier wieder im Vordergrund. Die vier Ausprägungen des Subject sind auch bei der Processor-Klasse wiederzufinden. Zusätzlich wurde noch der *UnicastProcessor* implementiert. Hier wird nur genau ein Subscriber zugelassen über die komplette Existenz des Processor-Objekts. Wenn versucht wird dagegen zu verstoßen wird eine *IllegalStateException* geworfen. In Listing 5.7 ist ein einfaches Beispiel zu finden. Eine

```
public class ProcessorExample
{
    public static void main(String[] args)
    {
        Flowable<String> flow = Flowable.just("Java", "Kotlin", "Scala");
        PublishProcessor<String> proc = PublishProcessor.create();
        proc.onBackpressureBuffer(1).map(s -> s.toUpperCase()).subscribe(s -> {
            System.out.println(s);});
        flow.subscribe(proc);
    }
}
```

Listing 5.7: Beispielverwendung eines Processors

Ähnlichkeit zur Subject-Klasse ist erkennbar. Jedoch werden hier die Flowables verwendet, und das Back Pressure kann aktiv kontrolliert werden. Ist also bekannt das Schnittstellen nach den Richtlinien der Reactive Streams Initiative entwickelt wurden, ist es lohnenswert auf die Verwendung von Flowables und Processors zu setzen um auf einfachem Wege eine Kompatibilität zu ermöglichen.

5.9 Schedulers

Im Abschnitt zu Parallelisierung und Nebenläufigkeit wurde schon beschrieben, dass jedes Observable-Objekt serialisierbar und thread-safe sein muss. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit Observables oder einzelne Operationen auf unterschiedlichen Threads auszuführen. RxJava bringt hierfür einige Scheduler mit, die unterschiedliche Arten von Threads oder Threadpools mitbringen um Multithreading zu ermöglichen. Um zum Beispiel eine Berechnung auf einem anderen Thread auszuführen bringt die Observable-Klasse zwei Methoden mit: *subscribeOn()* und *observeOn()*. Beide Funktionen nehmen einen Scheduler als Parameter entgegen, jedoch unterscheiden sie sich in ihrer Funktionsweise.

- subscribeOn: Wird diese Funktion aufgerufen wird jedes Element des Observable vollständig auf den vom Scheduler bereit gestellten Thread bearbeitet. Finden mehrere Aufrufe statt wird immer nur der erste Aufruf durchgeführt, da die Ausführung des Observable durch die Thread-Sicherheit immer nur auf einem Thread stattfindet.
- observeOn: Hier wird nicht der Observable Stream an sich betrachtet sondern die einzelnen Elemente. Somit ist es möglich, dass Operationen und Subscriptions jedes Mal auf einem neuen Thread stattfinden können. Dies heißt wiederum, dass jeder Aufruf von *observeOn* dazu führt, dass die folgenden Operationen auf dem neuen Thread ausgeführt werden.

```
Observable< String > observable = Observable.just( "Java", "Kotlin", "Scala" );
observable.subscribeOn( Schedulers.newThread() ).map( mapping ).
    subscribeOn( Schedulers.newThread() )
    .subscribe( s -> {
        System.out.println( s + ": " + Thread.currentThread().getName() );
    } );
```

Listing 5.8: Beispiele für Scheduling mit zwei subscribeOn-Aufrufen

Listing 5.8 zeigt ein Observable welches eine Operation, eine Subscription und zwei *subscribeOn*-Methodenaufrufe beinhaltet. In diesem Beispiel wird alles auf einem Thread ausgeführt. Dieser Thread wird von dem ersten auftretenden *Schedulers.newThread()* erstellt und jeder weitere Aufruf wird ignoriert, da das komplette Observable nur auf einen Thread ausgeführt werden kann. Betrachtet man nun das Listing 5.9 erkennt man die gleiche Struktur, jedoch wird in diesem Fall die *observeOn*-Methode zweimal verwendet. Wie beschrieben wird hier jeder einzelne Bestandteil des Observables als einzelner Task behandelt und kann somit immer auf einem neuen Thread ausgeführt werden. Hier wird in beiden Methodenaufrufen ein neuer Thread erzeugt. Zur Veranschaulichung betrachtet man Tabelle 5.2. Die erste Spalte zeigt den Programmfluss des Listings 5.8. Das Observable wird auf einem Thread immer pro Element durchlaufen. Im Vergleich dazu kann man in der zweiten Spalte den Programmfluss von Listing 5.9 sehen. Auf dem ersten Thread findet zuerst die Operation für das mapping von jedem

subscribeOn	observeOn
mapping: RxNewThreadScheduler-1	mapping: RxNewThreadScheduler-1
java: RxNewThreadScheduler-1	mapping: RxNewThreadScheduler-1
mapping: RxNewThreadScheduler-1	mapping: RxNewThreadScheduler-1
kotlin: RxNewThreadScheduler-1	java: RxNewThreadScheduler-2
mapping: RxNewThreadScheduler-1	kotlin: RxNewThreadScheduler-2
scala: RxNewThreadScheduler-1	scala: RxNewThreadScheduler-2

Tabelle 5.2: Ablauf der Threads bei Verwendung von subscribeOn und observeOn

Element statt, und auf dem zweiten Thread die danach folgende Operation, in diesem Fall die Subscription. Somit muss je nach Vorhaben und Anforderung die passende Art von Scheduling

```
Observable< String > observable = Observable.just( "Java", "Kotlin", "
Scala" );
observable.observeOn( Schedulers.newThread() ).map( mapping ).observeOn(
Schedulers.newThread() ).subscribe( s -> {
System.out.println( s + ": " + Thread.currentThread().getName() );
} );
```

Listing 5.9: Beispiele für Scheduling mit zwei observeOn-Aufrufen

betrieben werden.

5.10 Operationen

Es wurde schon einiges über die auf Observable anwendbaren Bulk-Operations geschrieben und in manchen Listings auch angewandt, jedoch noch nicht im einzelnen geschildert wie der genaue Ablauf einer solchen Operation stattfindet. Um die ganze Mechanik besser zu verstehen, werden folgend vier der gängigen Operationen veranschaulicht. Hierzu werden sogenannte Marble-Diagramme verwendet. Die oberer Linie stellt immer ein Observable-Stream in zeitlichem Ablauf dar, also ähnlich einem Zeitstrahl. Jedes Element, dargestellt durch die farblichen *Marbles*, wird durch die mittlere Operation geführt und auf das ausgehenden Observable, am unteren Ende des Bildes ausgegeben.

5.10.1 Operation filter()

Wie der Name schon sagt, handelt es sich bei Filter um eine Operation die einen Ausdruck prüft, und sofern das Element gültig ist, wird es weitergeben. Verwendet wir hier der von RxJava mitgebrachte Datentyp *Predicate*. Er beinhaltet eine Methode *test()* zur Implementierung, welche ein boolean zurück liefert. Somit ist es möglich einfache aber auch komplexere Überprüfungen innerhalb der Filter-Operation auszuführen. Im Bild 5.1 sieht man eine Filterung nach dem

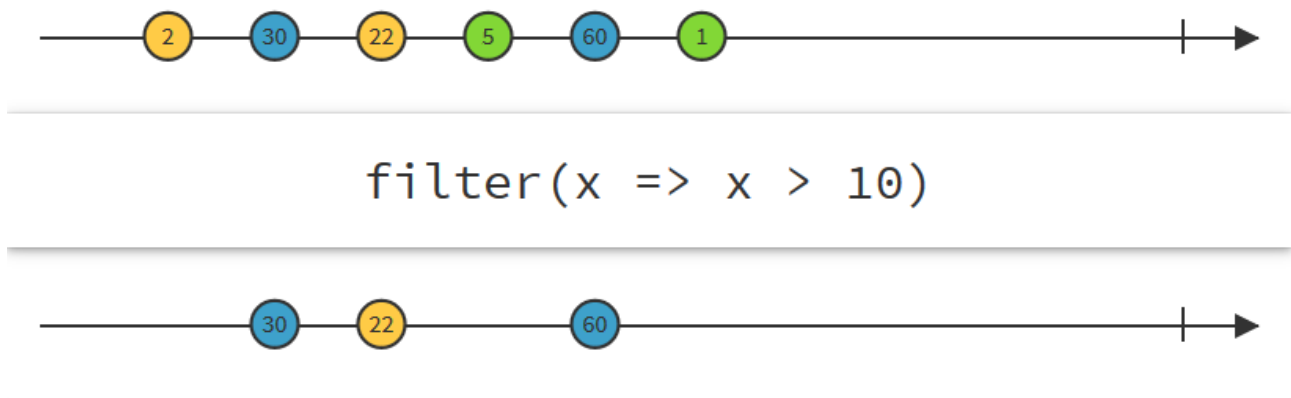


Abbildung 5.1: Datenfluss Filter-Operation

Kriterium, dass nur jedes Element, das einen Wert größer 10 repräsentiert, ausgegeben wird. Da jedes Element sequentiell überprüft wird, erhält das untere Observable immer genau dann ein Element wenn es auch zu diesem Zeitpunkt die Prüfung passiert hat. In Java-Code sieht das ganze dann aus wie in Listing 5.10. Innerhalb des Predicate wird die `test()`-Methode implementiert und die Prüfung ob der Wert größer 10 ist durchgeführt. Parametriert wird das

```
Observable< Integer > obs0 = Observable.just( 2, 30, 22, 5, 60, 1 );
Predicate< Integer > p = new Predicate< Integer >()
{
    @Override
    public boolean test( Integer arg0 ) throws Exception
    {
        return ( arg0 > 10 );
    }
};
obs0.filter( p ).subscribe( x -> System.out.println( x ) );
```

Listing 5.10: Beispiel Filter Operation

Predicate auf den Wert Integer, da nur ein Datentyp übergeben wird, Resultat ist immer Datentyp boolean. Das Predicate kann natürlich auch inline als Lambda oder anonym deklariert werden.

5.10.2 Operation map()

Die Map-Operation gilt als Transformationsoperation. Ihre Aufgabe ist es, jeden auftretenden Wert auf einen Funktionswert abzubilden und das Resultat auszugeben. In Abbildung 5.2 sieht man auf dem ursprünglichen Observable drei auftretenden Elemente. Jedes dieser Elemente wird mit 10 multipliziert und danach an das resultierenden Observable ausgegeben. In Programmcode wird es wie erwartet als Lambda-Ausdruck dargestellt. Innerhalb des Mapping

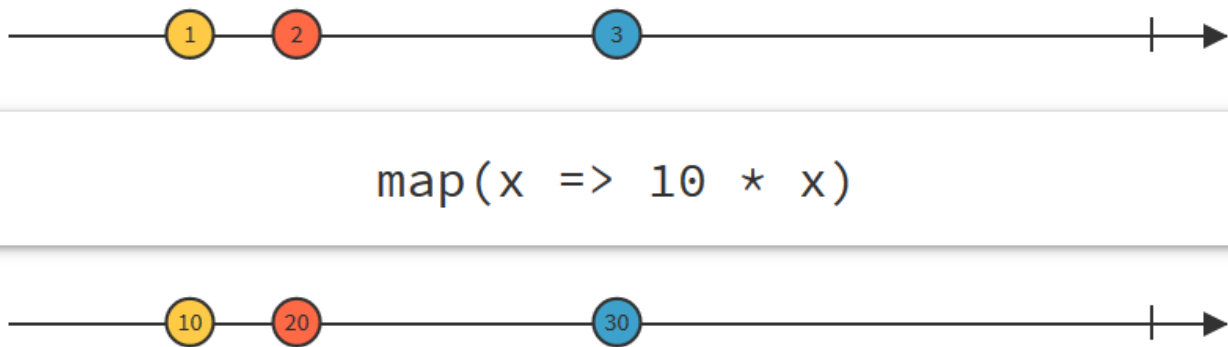


Abbildung 5.2: Datenfluss Map-Operation

```
Observable< Integer > obs1 = Observable.just( 1, 2, 3 );
obs1.map( x -> x * 10 ).subscribe( x -> System.out.println( x ) );
```

Listing 5.11: Beispiel Map Operation

wird $x \mapsto x \cdot 10$ abgebildet.

5.10.3 Operation merge()

Merge repräsentiert eine Observable-Komposition. Es handelt sich hierbei um eine recht einfache Variante, denn es werden lediglich alle Elemente aus mindestens zwei Observables in einen Observable-Stream zusammengefasst. Betrachtet man auch hier die passende Abbildung

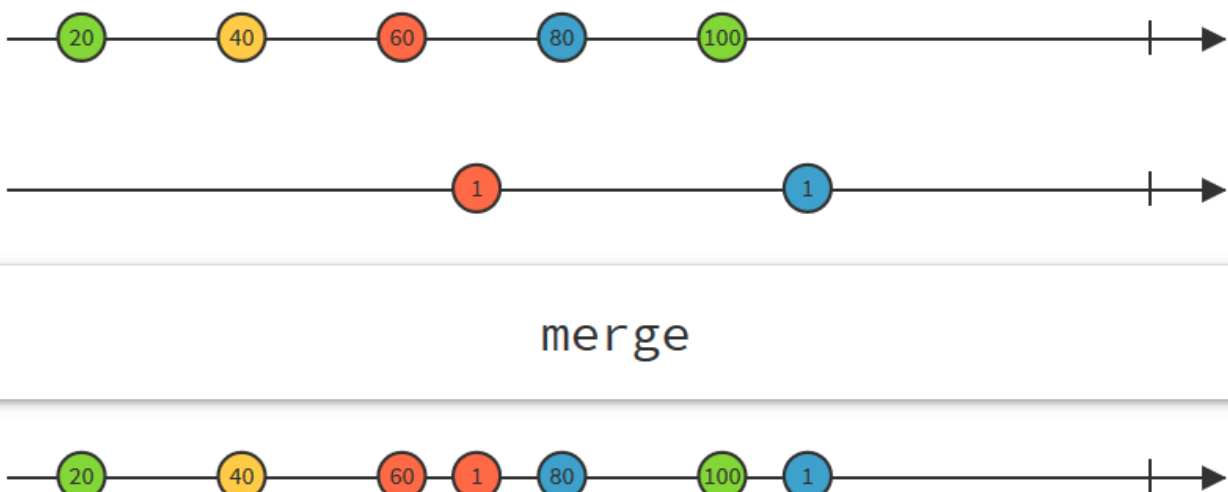


Abbildung 5.3: Datenfluss Merge-Operation

5.3 wird deutlich wie die Komposition stattfindet. Zu jedem Zeitpunkt zu welchem eines der

Observables ein Element ausgibt wird es an das zusammengeführte Observable weitergegeben. Somit wird die Reihenfolge der Elemente rein von dem Faktor Zeit bestimmt. Im Listing 5.12

```
Observable< Integer > obs2 = Observable.just( 20, 40, 60, 80, 100 );
Observable< Integer > obs3 = Observable.interval( 10, TimeUnit.
    MICROSECONDS ).map( i -> 1 );
Observable.merge( obs2, obs3 ).subscribe( x -> System.out.println( x ) );
```

Listing 5.12: Beispiel Merge Operation

ist die entsprechende Implementierung zu sehen. Eines der Observables beinhaltet die Werte in zwanziger Schritten, das weitere produziert jede Nanosekunde ein Element. Das Mapping muss stattfinden, da immer nur Elemente eines Datentyps in ein Observable zusammen geführt werden können. Wie vorab schon erwähnt kann die Unendlichkeit bei der Komposition von Streams zu Problemen hinsichtlich der Verwertbarkeit des Observerables und der Performanz einer Anwendung führen.

5.10.4 Operation zip()

Bei dem *zip*-Operator handelt es sich ebenfalls um eine Komposition von Observables. Wie die Funktionsweise eines Reißverschlusses werden die Elemente miteinander verbunden. Abbildung 5.4 erläutert diese Weise genauer. Die Elemente der beiden Observables können unterschiedlichen Typs sein und können zu unterschiedlichen Zeitpunkten ausgegeben werden. Zip geht nun so vor, dass ab dem Moment, ab welchem mehrere Observables zusammen gelegt werden, immer die nächsten Elemente miteinander verknüpft werden und als Resultat ein neuer beziehungsweise anderen Datentyp entstehen kann. Um es sich wieder von Entwicklungsseite zu

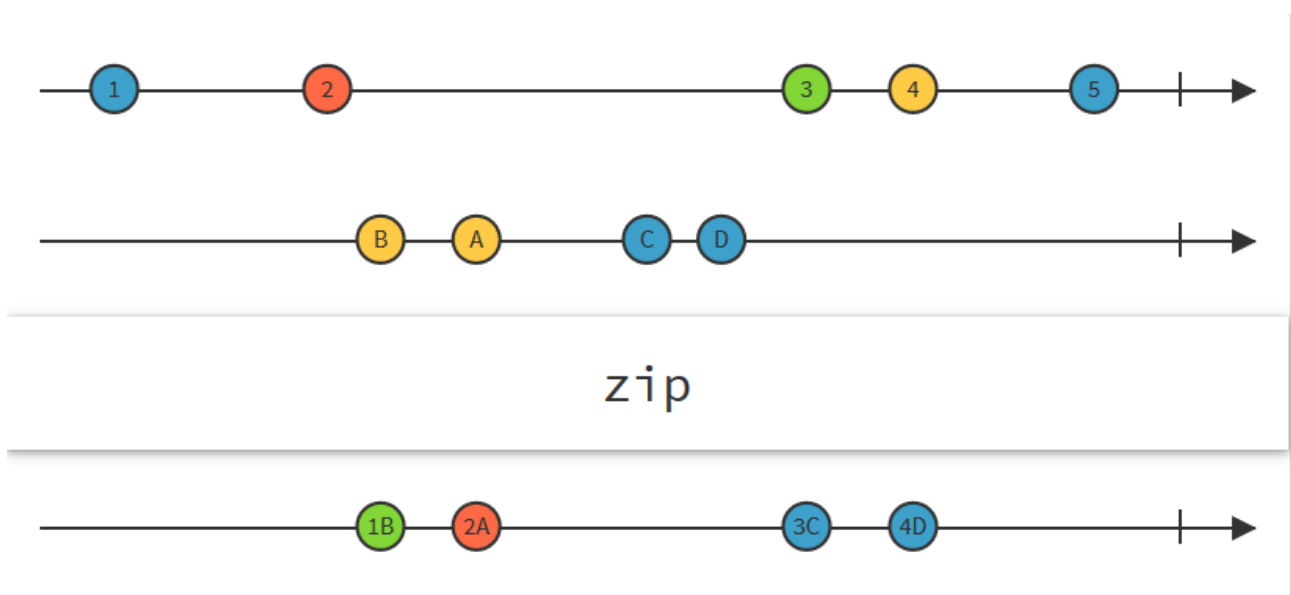


Abbildung 5.4: Datenfluss Zip-Operation

```
Observable< Integer > obs4 = Observable.just( 1, 2, 3, 4, 5 );
Observable< String > obs5 = Observable.just( "B", "A", "C", "D" );
Observable.zip( obs4, obs5, ( x, y ) -> y + x.intValue() ).subscribe( z ->
    System.out.println( z ) );
```

Listing 5.13: Beispiel Zip Operation

veranschaulichen ist in Listing 5.13 ein einfaches Beispiel dargestellt. Wie in der Abbildung werden einmal Zahlen einmal Buchstaben als Observables repräsentiert und mit dem Zip-Operator verknüpft. Zip muss immer wissen wie die Objekte verbunden werden sollen. Hierzu wird eine entsprechende Funktion implementiert. Hier ist wieder die Verwendung von Lambdas möglich, wie es auch im Listing 5.13 stattfindet, oder es muss eine explizite Funktion definiert werden, als Methode oder anonym.

Kapitel 6

Beispiel: Implementierung eines Systemmonitors

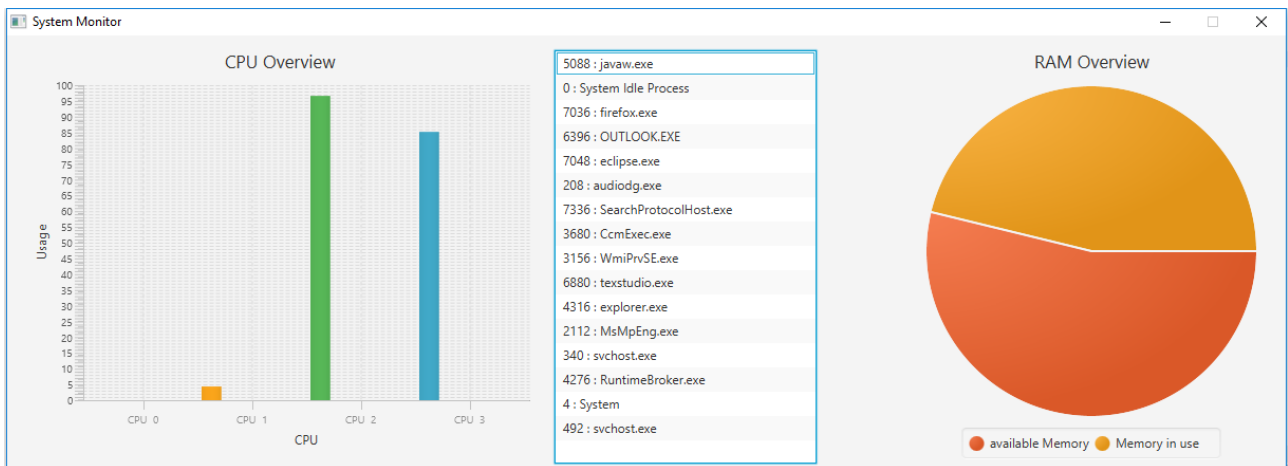


Abbildung 6.1: SystemMonitor Applikation

In diesem Kapitel soll nun eine kleine Anwendung beschrieben werden die einige der zuvor geschilderten Methoden implementiert. Augenmerk liegt hier auf der Erstellung von Observables und die weitere Verwendung dieser. Als Beispiel soll ein Systemmonitor dienen. Hierfür werden die aktuelle Auslastung der Kerne, die ausgeführten Prozesse sortiert nach der CPU-Auslastung sowie der aktuell genutzte RAM ausgelesen und auf einer Oberfläche dargestellt. Die Implementierung wurde mit Java 8u121 und RxJava 2.0.8 realisiert. Zusätzlich kamen noch die Bibliotheken JavaFX 8, RxJavaFX 2.0.2 sowie Oshi 3.4.0 zum Einsatz [rx], [osh]. Das Bild 6.1 zeigt die fertige Applikation.

6.1 Klassenbeschreibung SystemProvider

Um sicherzustellen das die geforderten Daten des Systemmonitors verfügbar sind, wurde das `ISystemProvider`-Interface implementiert. Listing 6.1 zeigt die zu implementierenden Metho-

```

public interface ISystemProvider
{
    List< Observable< Double > > fetchCpuValues();

    int getCpuAmount();

    Observable< Long > getAvailableMemory();

    long getTotalMemory();

    Observable< List< String > > getProcesses();
}

```

Listing 6.1: ISystemProvider-Interface

den. Die festen Größen wie die Anzahl der Kerne und der verfügbare RAM werden als einfache Datentypen zur Verfügung gestellt. Die variablen Werte, also CPU-Auslastung, Prozesse und genutzter Speicher werden durch Observables repräsentiert. Die Implementierung dieser Methoden wurden in der Klasse SystemProvider vorgenommen. Das Oshi-Framework bietet eine Schnittstelle um auf Systeminformationen außerhalb der JVM zuzugreifen. Als Einstiegspunkt dient immer ein Objekt der SystemInfo-Klasse. Dieses bietet die weiteren Informationen über das Betriebssystem oder die verwendete Hardware der Maschine. Der SystemProvider wurde als Singleton implementiert, wodurch auch nur eine Instanz der SystemInfo-Klasse verwendet wird um die spezifischen Systeminformationen abzurufen. Interessant ist hier die Implementierung von den Methoden *fetchCpuValues*, *getAvailableMemory* und *getProcesses*.

6.1.1 List< Observable< Double > > fetchCpuValues()

Die Implementierung der *fetchCpuValues()*-Methode ist in Listing 6.2 zu sehen. Die sich ändernden Werte liegen in Datentyp Double vor und sind die Stelle die beobachtet werden soll. Somit wird für jeden Kern ein separates Interval-Observable instanziiert. Die Taktung des Intervalls liegt bei einer Sekunde. Der vom Intervall generierte Wert wird vernachlässigt. Jedoch wird der Takt genutzt um eine Abfrage über die aktuelle Auslastung eines Kerns durchzuführen. Bei einem 4-Kern Prozessor wird also eine Liste mit vier Observables von der Methode zurück geliefert. Da es sich um Cold-Observables handelt werden zu diesem Zeitpunkt noch keine Werte ausgegeben. Noch zu erwähnen ist, das ein Scheduler genutzt wird um diesen Vorgang durchzuführen. Somit wird nicht der Thread der möglichen Subscriber verwendet, was ein Blockieren verhindern soll.

```

@Override
public List< Observable< Double > > fetchCpuValues()
{
    List< Observable< Double > > resultList = new ArrayList<>();
    for ( int i = 0; i < cpuAmount; i++ )
    {
        int j = i;
        resultList.add( Observable.interval( 1, TimeUnit.SECONDS, Schedulers.
            computation() )
            .map( tmp -> processor.getProcessorCpuLoadBetweenTicks()[ j ] ) );
    }
    return resultList;
}

```

Listing 6.2: SystemProvider - Implementierung der fetchCpuValues()-Methode

```

@Override
public Observable< Long > getAvailableMemory()
{
    return Observable.interval( 1, TimeUnit.SECONDS, Schedulers.computation()
        ).map( i -> memory.getAvailable() );
}

```

Listing 6.3: SystemProvider - Implementierung der getAvailableMemory()-Methode

6.1.2 Observable< Long > getAvailableMemory()

In Listing 6.3 sieht man die Implementierung der Methode um den freien RAM auszulesen. Die Abfrage des Werts wird wieder mit einem Intervall durchgeführt und die Werte werden durch ein Observable repräsentiert. Auch hier wird wieder der Computation-Scheduler als Threadpool verwendet.

6.1.3 Observable< List< String > > getProcesses()

Die in Listing 6.4 gezeigte Methode liefert ebenfalls ein Observable-Objekt zurück. Unterschied ist hier jedoch, dass nicht nur ein Wert beobachtet wird, sondern die komplette Liste der Prozesse. Zusätzlich zum getakteten Aufruf der getProcesses()-Methode der SystemInfo-Klasse wird hier die Datenrepräsentation der Objekte geändert. Durch die Funktion *func* wird aus den einzelnen Prozessen eine Liste bestehend aus der PID(ProcessID) sowie dem Prozessnamen. Die Liste repräsentiert 16 Prozesse sortiert nach der CPU-Auslastung.

```

@Override
public Observable< List< String > > getProcesses()
{

    Function< OSProcess[], List< String > > func = new Function< OSProcess[],
        List< String > >()
    {
        @Override
        public List< String > apply( OSProcess[] t ) throws Exception
        {
            List< String > list = new ArrayList<>();

            for ( int i = 0; i < t.length; i++ )
            {
                list.add( t[ i ].getProcessID() + " : " + t[ i ].getName() );
            }
            return list;
        }
    };
    return Observable.interval( 1, TimeUnit.SECONDS, Schedulers.computation()
        )
        .map( x -> sysinfo.getOperatingSystem().getProcesses( 16, ProcessSort.
            CPU ) ).map( func );
}
}

```

Listing 6.4: SystemProvider - Implementierung der getProcesses()-Methode

6.2 Klassenbeschreibung MainApplication

Der bisherige Teil der Implementierung hat nur die Datenbeschaffung erledigt. Es fehlt die Repräsentation dieser Daten auf der Oberfläche. Hierzu dient die Klasse *MainApplication*. Durch das JavaFX-Framework kann eine einfache Oberfläche schnell implementiert werden. Durch das Erweitern der Klasse mit der abstrakten Klasse *Application* des JavaFX-Frameworks muss die Methode *start()* implementiert werden. Es wird die Basis für die graphische Darstellung in Form der ersten *Stage* gelegt. Auf dieser Stage werden alle Elemente die dargestellt werden sollen in einem Wurzelobjekt zusammengeführt. Wie dies genau geschieht wird in Listing 6.5 beschrieben. Mit der *BorderPane* wird ein Wurzelelement der Oberfläche geschaffen. Darauf werden horizontal angeordnet die eigentlichen Knoten(Nodes) festgelegt. Die Anordnung wird durch die verwendete *HBox* übernommen. Die statischen Methoden *createBarChart()*, *createProcessList()* und *createPieChart()* sind die Methoden auf welche das eigentliche Augenmerk gerichtet wird, denn in diesen Methoden werden die Observables der Systeminformationen verwendet.

```

@Override
public void start( Stage primaryStage ) throws Exception
{
    BorderPane root = new BorderPane();
    HBox hBox = new HBox( 10 );
    hBox.setPadding( new Insets( 8, 5, 5, 8 ) );
    hBox.setAlignment( Pos.BASELINE_CENTER );
    hBox.getChildren().setAll( createBarChart(), createProcessList(),
        createPieChart() );

    root.setLeft( hBox );
    primaryStage.setTitle( "System Monitor" );
    primaryStage.setResizable( false );
    primaryStage.setScene( new Scene( root, 1200, 400 ) );
    primaryStage.show();
}

```

Listing 6.5: MainApplication - Implementierung der start()-Methode

6.2.1 Node createBarChart()

Diese Methode liefert einen Knoten von Typ BarChart(Balkendiagramm) zurück. Die BarChart arbeitet mit Serien von Daten die innerhalb des Diagramms dargestellt werden. Jede Serie besteht wiederum aus eine Menge von Daten mit jeweils einem x und einem y Wert. Die Serien werden von dem BarChart in einer *ObservableList* verwaltet. Dieser Datentyp stammt aus der JavaFX-Bibliothek und bietet die Möglichkeit die Liste von Daten zu beobachten und bei Änderung zu reagieren. Die Reihenfolge der Beobachtung der Datenänderungen ist gestaffelt. Für jedes Observable welches einen Kern und somit dessen aktuelle Auslastung repräsentiert wird in einer separaten Serie gespeichert. Jede dieser Serien enthält einen Datensatz. in der Hilfsmethode *setObservableChartData()* wird dieser Schritt durchgeführt. Der Wert den Observables mit dem CPU-Wert wird von verantwortlichen Datensatz der Serie subscribed. Somit enthält die Serie eine Datensatz mit sich ständig ändernden Daten. Diese Serie wird nun in der *ObservableList* abgelegt. Sind Serien für jeden der Kerne erstellt, wird die Liste als Datensatz dem Balkendiagramm übergeben. Finden nun eine Wertänderung statt, wird diese auf dem *JavaFx-Scheduler.platform()*-Thread ausgeführt. Dieser Thread repräsentiert die Änderungen auf der Oberfläche. Somit wird bei jeder Wertänderung die Serie des Balkendiagramms aktualisiert. Die Implementierung der beidem Methoden zeigt Listing 6.6. In der *for()*-Schleife wird für jeden Kern die Hilfsmethode ausgeführt und eine Serie mit Daten zurück geliefert. Diese wird der *ObservableList* hinzugefügt, welche wiederum als Datensatz des BarCharts verwendet wird.

6.2.2 Node createPieChart()

Die Auslastung des RAM wird als PieChart(Kreisdiagramm) dargestellt. Auch hier werden die Daten wieder in einer ObservableList parametrisiert auf den Datentyp Data abgelegt welcher von dem PieChart zur Verfügung gestellt wird. In diesem Beispiel besteht der Kreis nur aus zwei Werten, dem genutzten und dem noch verfügbaren RAM. Das Observable erhält die Methode vom SystemProvider. Da die beiden Werte immer zusammen den Kreis komplett ausfüllen, also 100% des RAM repräsentieren, werden die beiden Werte in einer Subscription aktualisiert. Auch hier erhält das PieChart die ObservableList mit den beiden Werten. Die Wertänderung wird wieder auf dem JavaFxScheduler-Threadpool ausgeführt um die Wertänderungen an die GUI zu publizieren. Listing 6.7 zeigt diese Implementierung.

6.2.3 Node createProcessList()

Die Prozessliste wird von einem Node des Types ListView(Listenansicht) auf der Benutzeroberfläche repräsentiert. Die *getProcesses()*-Methode des Systemproviders liefert wieder das Observable, was jede Sekunde die Liste über das Oshi-Framework abholt. Die Beobachtung findet über die vollständige Liste statt, somit ist auch die Subscription dort anzubringen. Die Daten der ListView werden ebenfalls in einer ObservableList verwaltet. Innerhalb der Subscription wird somit die Liste des Providers in eine ObservableList transformiert und als Einträge in die ListView hinzugefügt. Die konkrete Implementierung findet sich in Listing 6.8.

6.3 Beschreibung des Beispiels

Das Beispiel implementiert mehrere Methoden nach den Prinzipien des Reactive Programming. Die verwendeten Observables werden alle als Intervall instanziiert. Dies hat den Grund, da die Systeminformationen über die vom Oshi-Framework zu Verfügung stehenden Methoden bezogen werden. Dies geschieht nach dem Pull-Verfahren, also für jeden Wert muss ein separater Aufruf der Methode stattfinden. Diese Observables werden alle in einem Thread des RxJava eigenen Schedulers.computation() Threadpool gestartet sobald eine Subscription registriert wird. Somit handelt es sich hier um Cold Observables. Betrachtet man die Methode für das Erstellen der Observables für die Auslastung der einzelnen Kerne stellt man fest, dass die Intervalle unabhängig von einander starten. Somit findet die Aktualisierung der Werte der unterschiedlichen Kerne asynchron und nebenläufig statt. Die Datenaktualisierung der GUI muss auf dem Main-Thread der JavaFX-Application ausgeführt werden. Um diesen Thread nur für die vorgesehen Aktualisierung zu verwenden wird bei jeder der Methoden zum Erstellen der unterschiedlichen Nodes der JavaFxScheduler.platform()-Threadpool verwendet, und zwar nur für die relevanten Datenänderungen. Somit muss die Funktionalität der *observeOn()*-Methode für die jeweilige Subscription genutzt werden, sodass die Berechnung und Datenbeschaffung außerhalb und die Änderung der beobachteten Daten der Oberflächenelemente innerhalb des MainThreads der

Application ausgeführt werden.

```

private static Node createBarChart()
{
    ISystemProvider provider = SystemProvider.getInstance();
    List< Observable< Double > > cpuLoadList = provider.fetchCpuValues();
    ObservableList< Series< String, Number > > seriesList = FXCollections.
        observableArrayList();

    for ( int i = 0; i < cpuLoadList.size(); i++ )
    {
        Series< String, Number > chartSeries = setObservableChartData(
            cpuLoadList.get( i ), i );
        seriesList.add( chartSeries );
    }
    barChart.setData( seriesList );

    return barChart;
}

private static Series< String, Number > setObservableChartData( Observable<
    Double > data, int index )
{
    XYChart.Series< String, Number > chartSeries = new XYChart.Series<>();
    chartSeries.getData().add( new XYChart.Data< String, Number >( "CPU " +
        index, 0 ) );
    data.map( x -> x * 100 ).observeOn( JavaFxScheduler.platform() ).subscribe
        ( d -> {
            System.out.println( "CPU " + index + " " + +d );
            chartSeries.getData().get( 0 ).setYValue( d );
        } );
    return chartSeries;
}

```

Listing 6.6: MainApplication - Auszug aus der Implementierung der createBarChart()-Methode mit der zusätzlichen Hilfsmethode setObservableChartData()


```

private static Node createPieChart()
{
    ISystemProvider provider = SystemProvider.getInstance();
    ObservableList< Data > valueList = FXCollections.observableArrayList();
    Data memoryInUse = new Data( "Memory in use", 0 );
    Data memoryAvailable = new Data( "available Memory", 0 );
    valueList.add( memoryAvailable );
    valueList.add( memoryInUse );

    provider.getAvailableMemory().observeOn( JavaFxScheduler.platform() ).
        subscribe( x -> {
            memoryInUse.setPieValue( provider.getTotalMemory() - x );
            memoryAvailable.setPieValue( x );
        } );

    pieChart.setData( valueList );

    return pieChart;
}

```

Listing 6.7: MainApplication - Auszug aus der Implementierung der createPieChart()-Methode

```

private static Node createProcessList()
{
    ISystemProvider provider = SystemProvider.getInstance();
    ListView< String > listview = new ListView<>();
    provider.getProcesses().observeOn( JavaFxScheduler.platform() )
        .subscribe( x -> listview.setItems( FXCollections.observableArrayList( x
        ) ) );

    return listview;
}

```

Listing 6.8: MainApplication - Implementierung der createProcesses()-Methode

Kapitel 7

Evaluierung

Ziel dieser Arbeit war es einen Einblick in das Thema Reactive Programming zu ermöglichen. Dazu wurde geklärt wie reaktives Verhalten mit schon bekannten Prinzipien der Softwareentwicklung realisiert werden kann. Ebenso hat eine Abgrenzung zwischen Reactive Programming, Reactive Systems sowie Functional Reactive Programming stattgefunden. Anschließend wurden die notwendigen Bestandteile, das Observer Pattern sowie Back Pressure, der Reactive Streams geschildert. Eine mögliche Art der Implementierung dieser Prinzipien wurden mit der Beschreibung der Referenzbibliothek RxJava genauer betrachtet. Die notwendigen Bestandteile und Basisklassen wurde für ein besseres Verständnis beschrieben. Mit Code-Beispielen sollte eine mögliche Implementierung der Klassen und deren Zusammenhänge veranschaulicht werden. Am Beispiel eines kleinen Systemmonitors wurden einige der zuvor beschriebenen Konzepte angewandt. Gerade die Weitergabe von Observables und die Weiterverwendung dieser stand hier im Mittelpunkt. Im Zusammenspiel mit JavaFX wurde somit eine reaktive Anwendung mit Benutzeroberfläche implementiert.

Hier liegt auch schon einer der großen Vorteile von Reactive Programming. Im Bereich der Entwicklung von Oberflächen mit Benutzerinteraktion liegt klar eine Stärke dieser Methode. Asynchrone Events, wie Verarbeiten einer Eingabe oder Datenbeschaffung von einer Datenbank oder einer Festplatte, blockieren die Anwendung nicht, und nach Abschließen des Events werden die notwendigen weiteren Schritte gestartet. Durch das nicht Blockieren bekommt der Benutzer ständig Feedback auf seine Interaktion was sich positiv auf die User Experience auswirkt. Ein weiterer Aspekt ist die asynchrone Kommunikation über ein Netzwerk. Viele Applikationen arbeiten mit REST-Schnittstellen, also Anfragen über das Internet. Diese Anfragen können in Punkten wie Latenz und Bearbeitungszeit auf Serverseite variieren. Auch hier bringt Reactive Programming wieder den Vorteil, dass nach stellen der Anfrage die Applikation nicht blockiert, sondern weiter verwendet werden kann, und sobald eine Antwort eingegangen ist, stößt diese die weitere Verarbeitung an. Die beiden Anwendungsbeispiele beziehen sich auf den Kern des Reactive Programming, die Asynchronität. Besteht eine Abhängigkeit zwischen asynchron angestoßenen Events steigt die Komplexität der imperativen Programmierung und die Verwendung von reaktiver Programmierung ist klar zu bevorzugen. Sind Events jedoch vollkommen

unabhängig und eine asynchrone Behandlung stellt keine Anforderung dar, ist der imperative Weg oft schneller, da der Overhead den die Implementierung eines reaktiven Frameworks mitbringt umgangen werden kann. Alles in allem ist zu sagen das es sich bei Reactive Programming um ein Werkzeug handelt das, wenn es zu den richtigen Aufgaben verwendet wird, eine große Stärke in der Verarbeitung von asynchronen Ereignissen an den Tag legt. Jedoch ist es kein Werkzeug für jede Art von Arbeit, es muss also schon bei der Konzeption einer Anwendung analysiert werden, ob solch ein Verhalten als Anforderung besteht, und die Entscheidung für oder gegen Reactive Programming muss getroffen werden. Auch kann diese Überlegung bei schon bestehenden Anwendungen durchgeführt werden, da gerade wegen der Dualität des Observables zum Iterator eine Umstellung auch zyklisch stattfinden kann. Zu dieser Überlegung kommt noch hinzu, ob Schnittstellen verwendet werden, die über ein reaktives Verhalten verfügen. Dies bezieht sich wieder eher auf Reactive Systems, wie jedoch schon erwähnt, ist die Verwendung von Reactive Programming zur Realisierung von komplett reaktiven Systemen fast unumgänglich. Im aktuellen Aufschwung der Microservice-Architektur ist ein vermehrtes Aufkommen von reaktiv implementierten Services in Zukunft naheliegend. Ebenso wird es im mobilen Bereich wie der Android-Entwicklung vermehrt auftreten, da hier fast alle Applikationen auf häufige Benutzerinteraktion ausgelegt sind. Hierfür gibt es schon eine spezielle Erweiterung der RxJava-Bibliothek um die bestmöglichen Resultate auf Android-Geräten zu erzielen [and]. Gerade hier könnte sich Reactive Programming als eine *Best Practice* Methode profilieren.

Literaturverzeichnis

- [Amd] 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>
- [and] *RxAndroid Repository*. <https://github.com/ReactiveX/RxAndroid>
- [Bon] BONÉR, Jonas Klang V.: Reactive Programming versus Reactive Systems. <https://info.lightbend.com/reactive-programming-versus-reactive-systems.html>
- [Bon14] BONÉR, Jonas Farley Dave Kuhn Roland Thompson M.: the-reactive-manifesto-2.0. (2014). <http://www.reactivemanifesto.org/>
- [floa] *Java 9 Doc - Class Flow*. <http://download.java.net/java/jdk9/docs/api/index.html?java/util/concurrent/Flow.html>
- [flob] *Reactive Programming with JDK 9 Flow API*. <https://community.oracle.com/docs/DOC-1006738>
- [fpw] *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] HAREL, D. ; PNUELI, A.: On the Development of Reactive Systems. Version: 1985. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-82453-1_17. In: APT, Krzysztof R. (Hrsg.): *Logics and Models of Concurrent Systems*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 1985. – DOI 10.1007/978-3-642-82453-1_17. – ISBN 978-3-642-82453-1, 477–498
- [hsk] *Functional Reactive Programming*. <https://wiki.haskell.org/FRP>

- [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
- [lam] *Lambda-Kalkül*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Lambda-Kalk%C3%BC1>
- [Mar05] MARTIN FOWLER: *InversionOfControl*. <https://martinfowler.com/bliki/InversionOfControl.html>. Version: 2005
- [NC17] NURKIEWICZ, Tomasz ; CHRISTENSEN, Ben: *Reactive programming with RxJava: Creating asynchronous, event-based applications*. Sebastopol, CA : O'Reilly, 2017. – ISBN 9781491931653
- [osh] *Oshi Repository*. <https://github.com/oshi/oshi>
- [rsl] *Reactive Streams 1.0.0 is here!* <http://www.reactive-streams.org/announce-1.0.0>
- [rsm] *Reactive Streams*. <http://www.reactive-streams.org/>
- [rxa] *RxJavaFX Repository*. <https://github.com/ReactiveX/RxJavaFX>
- [rxd] *ReactiveX - What's different in 2.0*. <https://github.com/ReactiveX/RxJava/wiki/What%2F1%2Ftextquoterights-different-in-2.0>
- [rxg] *RxJava: Reactive Extensions for the JVM - offzielles GitHub Repository*. <https://github.com/ReactiveX/RxJava>

Abbildungsverzeichnis

2.1	Anwendung mit Button.	5
2.2	Die Konsolenausgabe für die Button Events.	5
3.1	Schematischer Aufbau eines Observer Patterns.	8
4.1	Die vier relevanten Bestandteile für ein reaktives System.Quelle [Bon14]	14
5.1	Datenfluss Filter-Operation	28
5.2	Datenfluss Map-Operation	29
5.3	Datenfluss Merge-Operation	29
5.4	Datenfluss Zip-Operation	30
6.1	SystemMonitor Applikation	33

Tabellenverzeichnis

5.1	Vergleich zwischen Funktionalität der Iterable- und Observable-Schnittstelle. . .	19
5.2	Ablauf der Threads bei Verwendung von subscribeOn und observeOn	27

Listingverzeichnis

2.1	Implementierung des eigentlichen Event Handlers	3
2.2	Klasse zum Anwendungsstart in welcher auch der EventHandler gesetzt wird. . .	4
3.1	Beispiel Erstellung, Verarbeitung und Ergebnisermittlung von Streams.	9
4.1	Lambda Beispiel in Java	16
5.1	Beispiel Observable Initialisierung und Subscription	19
5.2	Beispiel Cold Observable	20
5.3	Beispiel Hot Observable	21
5.4	Beispiel Flowable mit BackPressureBuffer	22
5.5	Beispiel eines Singles	23
5.6	Beispielverwendung eines Subjects	24
5.7	Beispielverwendung eines Processors	25
5.8	Beispiele für Scheduling mit zwei subscribeOn-Aufrufen	26
5.9	Beispiele für Scheduling mit zwei observeOn-Aufrufen	27
5.10	Beispiel Filter Operation	28
5.11	Beispiel Map Operation	29
5.12	Beispiel Merge Operation	30
5.13	Beispiel Zip Operation	31
6.1	ISystemProvider-Interface	34
6.2	SystemProvider - Implementierung der fetchCpuValues()-Methode	35
6.3	SystemProvider - Implementierung der getAvailableMemory()-Methode	35
6.4	SystemProvider - Implementierung der getProcesses()-Methode	36
6.5	MainApplication - Implementierung der start()-Methode	37
6.6	MainApplication - Auszug aus der Implementierung der createBarChart()-Methode mit der zusätzlichen Hilfsmethode setObservableChartData()	40
6.7	MainApplication - Auszug aus der Implementierung der createPieChart()-Methode	41
6.8	MainApplication - Implementierung der createProcesses()-Methode	41