



Studiengang

## Angewandte Informatik

PO Version 2011

### Bachelorarbeit

## Reactive Programming - Ein neues Programmierparadigma

Reactive Programming - A New Programming Paradigm

vorgelegt von

**Felix Scheidel**

26. Juni 2017

Betreuung: Prof. Dr. Jörg Hettel

Zweitkorrektor: Prof. Dr. Hans-Jürgen Steffens

## Zusammenfassung

In dieser wissenschaftlichen Arbeit wird das Programmierparadigma *Reactive Programming* behandelt. Reactive Programming verbindet die Eigenschaften für asynchrones, nicht blockierendes Verarbeiten von Datenströmen. Zu Beginn wird geklärt wie dieses Paradigma in den Kontext der Softwareentwicklung eingeordnet werden kann und wie es sich von Reactive Systems unterscheidet. Anschließend beschäftigt sich diese Arbeit mit den Bestandteilen wie dem Observer Pattern und dem Back Pressure, die dieses asynchrone und nicht blockierende Verhalten generieren. Zusammen bilden sie die Reactive Streams welche ebenfalls genauer erläutern werden. Auch wird eine bereits vorhandene Implementierung in Form der RxJava2 Bibliothek im Detail betrachtet. Es werden Eigenschaften wie Synchronität oder Nebenläufigkeit beschrieben. Weiterhin wird auf die grundlegenden Klassen wie Observables oder Schedulers genauer eingegangen und deren Beschreibungen werden durch Codebeispiele unterstützt. Es folgt eine Implementierung eines Systemmonitors als Beispielapplikation welche die RxJava2 Bibliothek verwendet und einige vorab besprochene Methoden genauer behandelt. Abschließend wird evaluiert wo Reactive Programming seine Vorteile hat und in welchen Anwendungsbereichen sich dieses Paradigma etablieren kann. Diese Einschätzung legt nahe, dass die wahrscheinlich sinnvollsten Gebiete die Arbeit mit REST-Schnittstellen, Microservice-Architekturen und sehr I/O basierte Anwendungen sein werden.

## Abstract

This scientific work is treating the programming paradigm *Reactive Programming*. This paradigm combines the attributes for asynchronous and non-blocking processing of datastreams. At first Reactive Programming is classified into the context of software development and the difference to Reactive Systems is exposed. Afterwards this work explains different parts like Observer Pattern or Back Pressure which are necessary to create the asynchronous and non-blocking behavior. These parts put together the Reactive Streams, which also get explained in this work. Furthermore an implementation of the already existing library RxJava2 gets discussed in detail. Characteristics like synchronicity and concurrency get described. There will be a closer look into the base classes like Observables and Schedulers accompanied with some coding examples. Ensuing there is an implementation of a system monitoring tool using the RxJava2 library and showing of some of the preceding methods. Finally an evaluation of the benefits of the Reactive Programming paradigm takes place, explaining which area of application this paradigm has its best use. The resulting estimation sees REST-Interfaces, the Microservice Architecture and very I/O heavy applications as the most meaningful areas of effect for Reactive Programming.

# Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, **Felix Scheidel**, geboren am **03.07.1988** in **Kirchheimbolanden**, ehrenwörtlich,

- dass ich meine Bachelorarbeit mit dem Titel:

## **Reactive Programming - Ein neues Programmierparadigma**

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, 25. Juni 2017**

**Felix Scheidel**



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Zielsetzung . . . . .	2
1.2	Aufbau der Arbeit . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Was bedeutet "<i>reactive</i>" im Kontext der Softwareentwicklung</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Unterscheidung von Reactive Systems und Reactive Programming</b>	<b>7</b>
3.1	Differenzierung zwischen Reactive Programming und Reactive Systems . . . . .	7
3.2	Abgrenzung Reactive Programming von Functional Reactive Programming . . .	9
<b>4</b>	<b>Bausteine von Reactive Programming</b>	<b>11</b>
4.1	Observer Pattern . . . . .	11
4.2	Back Pressure . . . . .	12
4.3	Reactive Streams . . . . .	13
4.3.1	Java 8 Streams . . . . .	13
4.3.2	Unterscheidung zu Reactive Streams . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Einführung in Reactive Programming mit RxJava2</b>	<b>17</b>
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() . . . . .	28
5.10.2	Operation map() . . . . .	29
5.10.3	Operation merge() . . . . .	29
5.10.4	Operation zip() . . . . .	30

<b>6</b>	<b>Beispiel: Implementierung eines Systemmonitors</b>	<b>33</b>
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() . . . . .	36
6.2	Klassenbeschreibung MainApplication . . . . .	37
6.2.1	Node createBarChart() . . . . .	37
6.2.2	Node createPieChart() . . . . .	39
6.2.3	Node createProcessList() . . . . .	40
6.3	Beschreibung des Beispiels . . . . .	40
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>43</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>I</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>V</b>

# Kapitel 1

## Einleitung

In der Softwareentwicklung hat in den letzten Jahren der Begriff des *Reactive Programming* an Bedeutung gewonnen. Diese Erkenntnis zeigt auch die Abbildung 1.1 der Google-Suchanfragen der letzten fünf Jahre zu diesem Thema. Noch deutlicher wird das Interesse, wenn man den *Hype Cycle of Application Development 2016* von Gartner betrachtet [cyc]. Hier ist Reactive Programming als klar aufstrebend in der Skala der neuen Technologien gelistet, welche sich jedoch noch in der Praxis etablieren müssen. Eine Anwendung die auf Ereignis reagiert ist jedoch nichts neues und kann mit den bereits vorhandenen Programmierparadigmen realisiert werden. Es stellt sich die Frage, wieso sich nun ein neues Paradigma entwickelt hat und was die besonderen Eigenschaften des Reactive Programming sind. Wenn wie angesprochen eine Reaktion auf auftretende Ereignisse von der Anwendung möglich ist, bezeichnet man diese als interaktiv. Die Häufigkeit für das Auftreten von Ereignissen wird durch den Benutzer oder ein weiteres Programm kontrolliert. Tritt ein Ereignis auf, führt das Programm den damit verbunden Codeabschnitt aus wie zum Beispiel eine Berechnung. Während dieser Vorgang läuft, wartet das Programm und liefert nach Abschluss der Aufgabe ein Resultat. Der eigentliche Programmfluss kann anschließend fortgesetzt werden. Dieses Verhalten wird häufig durch die Verwendung des Observer Pattern erreicht. Betrachtet man dagegen ein reaktives Verhalten kommen zu der vorhandenen Interaktivität weitere Aspekte hinzu. Es soll ermöglicht werden, die Ereignisse asynchron zu verarbeiten. Ebenso soll die Anwendung während dieser Verarbeitung nicht blockieren und somit zu jeder Zeit antwortbereit bleiben. Ziel von Reactive Programming ist es, diese Eigenschaften in einem neuem Programmierparadigma zu vereinen.

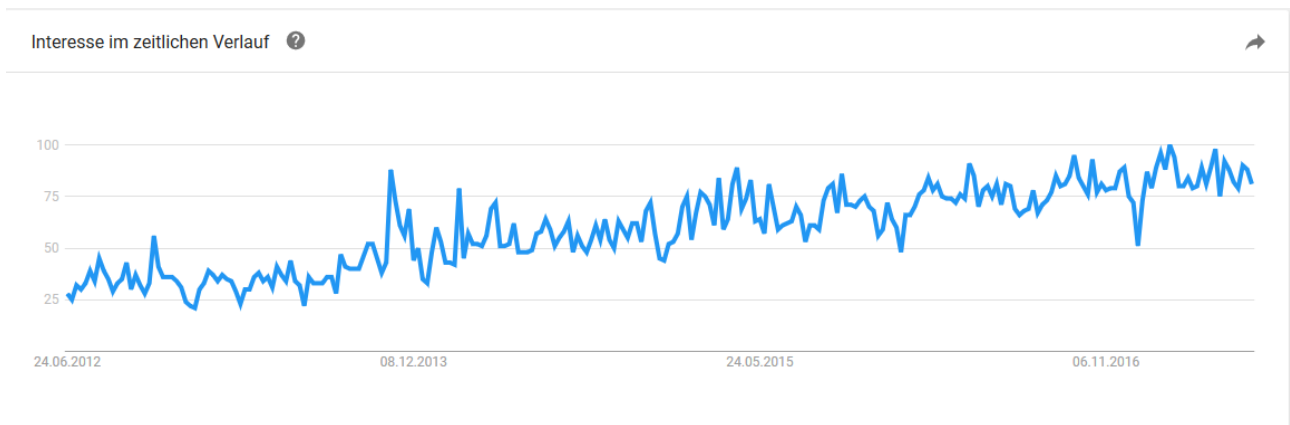


Abbildung 1.1: Verhältnis von Google Suchanfragen zum Thema Reactive Programming seit 2012.

## 1.1 Zielsetzung

Diese Arbeit hat zum Ziel einen Überblick über dieses neue Paradigma zu geben. Es soll geklärt werden welche Bestandteile notwendig sind, um eine Applikation reaktiv zu entwickeln. Diese Komponenten sollen separat beschrieben werden, aber auch eine Einordnung in den Kontext von kompletten Systemen soll vorgenommen werden. Zur Veranschaulichung soll eine Referenzbibliothek, welche diesen Prinzipien folgt, im Details beschrieben werden und eine beispielhafte Anwendung mit Verwendung dieser Bibliothek soll den Einblick in die Grundlagen des Themas Reactive Programming abschließen.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Um diese Ziele zu erreichen kann die Arbeit prinzipiell in zwei Bereiche unterteilt werden. Der erste Teil umfasst die Theorie zum Thema Reactive Programming. Es wird geschildert, was *reactive* im Kontext der Softwareentwicklung bedeutet. Weiterhin findet eine Unterscheidung zwischen Reactive Systems und Reactive Programming statt. Anschließend an die Differenzierung wird geklärt, welche Bausteine notwendig sind um ein Verhalten wie es Reactive Programming vorsieht zu entwickeln. Der darauffolgende praktischere Teil beschreibt eine konkrete Implementierung dieser Bausteine in der Bibliothek RxJava2. Das Verhalten dieser Bibliothek mit Themen wie Asynchronität oder Nebenläufigkeit und Beispielimplementierungen der Basisklassen werden behandelt. Als Beispielapplikation wird ein Systemmonitor mit Verwendung dieser Bibliothek implementiert und die verwendeten Bestandteile genauer beschrieben. Abschließend wird eine Einschätzung für relevante Einsatzmöglichkeiten durchgeführt.



# 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*). Ein Beispiel zur Veranschaulichung ist die Benutzeroberfläche (*GUI - Graphical User Interface*). Ein Benutzer bestätigt eine vorgekommene 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 sequentielltem 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 der Kon-

```
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

trolle, 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. 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

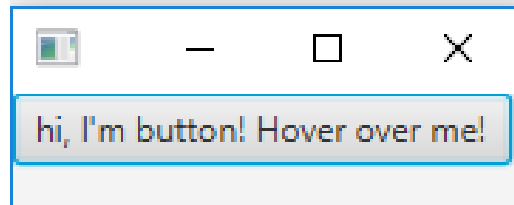


Abbildung 2.1: Anwendung mit Button.

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. 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.

```
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: Konsolenausgabe für die Button Events.

```

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.



# Kapitel 3

## Unterscheidung von Reactive Systems und 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 *Fuctional 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.

### 3.1 Differenzierung zwischen Reactive Proramming 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 3.1 aufgezeigt werden.

Wie in diesem beschrieben sind Reaktive Systeme:

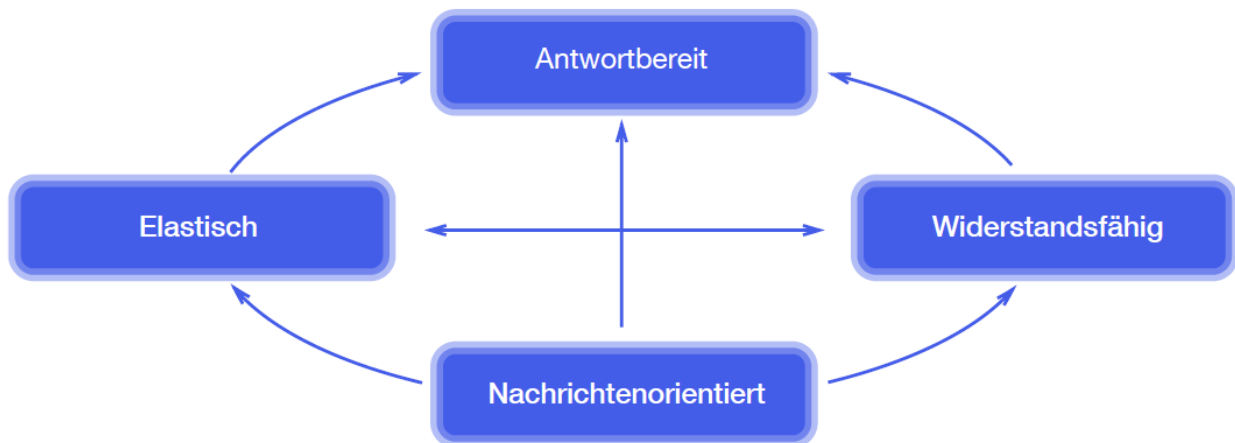


Abbildung 3.1: Die vier relevanten Bestandteile für ein reaktives System. Quelle [Bon14]

- **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. 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. Gerade das Zusammenspiel beider ist 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 Benutzeroberfläche) oft aus der Reaktion auf Ereignisse unterschiedlicher Art, die direkt in der Komponente verarbeitet werden sollen. Somit herrscht hier ein ereignisgetriebenes Verhalten.

## 3.2 Abgrenzung Reactive Programming von 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 3.1 wird jedes der Listenelemente

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

Listing 3.1: 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 4

## 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.

### 4.1 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 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 4.1 eine Implementierung des Subject. Man nehme an, auf der GUI soll der Temperaturwert als Balkendiagramm(`BarChartForTemp`), also als eine 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 4.1 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 und die *update()*-Methode jedes Observers aufgerufen wird. Diese Metho-

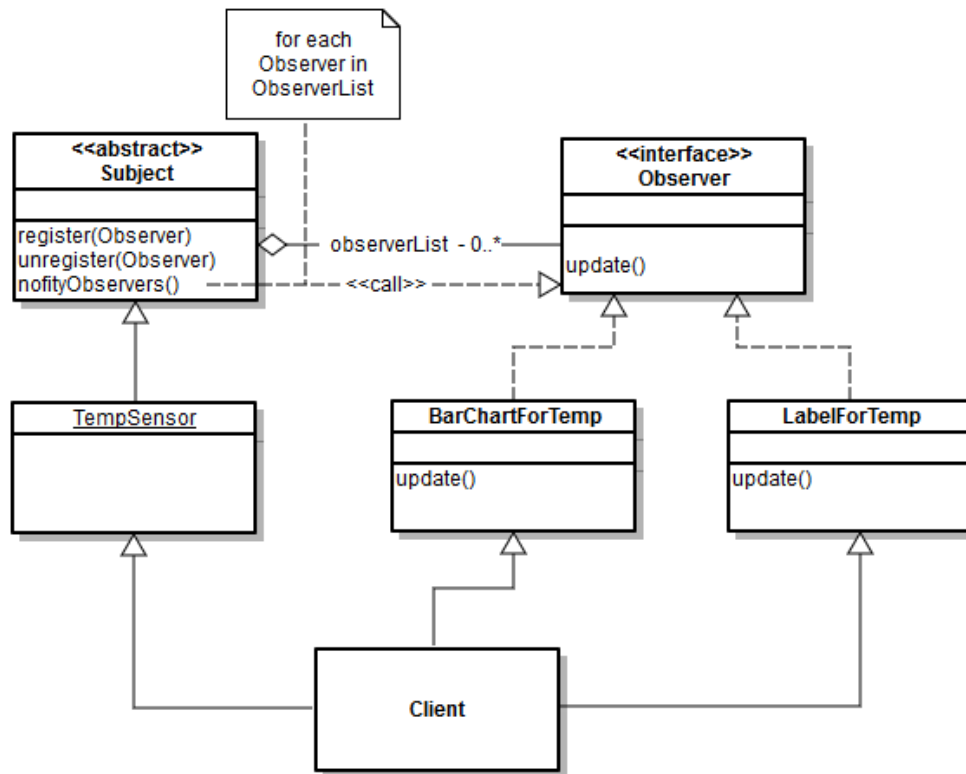


Abbildung 4.1: Schematischer Aufbau eines Observer Patterns.

den 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.

## 4.2 Back Pressure

Der weitere wichtige Aspekt der Reactive Streams ist die Eigenschaft des nicht blockierenden Back Pressures. Man betrachtet hier den Push-Ansatz. Ein Producer generiert Daten, die ein Consumer verarbeitet. Es kann nun passieren, dass mehr Daten produziert 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 einer *MissingBackPressureException* kommen.

## 4.3 Reactive Streams

Nach dem anfangs erwähnten Observer Pattern werden Datenströme überwacht 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.

### 4.3.1 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 direkte Speicherung der Daten vor. Collections können auch als Streams reprä-

sentiert 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 4.1 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 4.1: 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 Operationen 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 4.1 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.

### 4.3.2 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, dass 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, auch wenn in beiden Fällen von Datenströmen gesprochen wird, der grundlegende Gedanke, wie mit Streams umgegangen wird, ein anderer ist.



# 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 stecken. Die teilweise schon in Java vorhandenen Klassen wie der Observer 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 eigentliche 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 erstellter 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 des Endes



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.

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 beginnt die einmalige asynchrone Ausführung der Aufgabe. Das Resultat wird innerhalb des Futures zur Verfügung gestellt sobald die Aufgabe 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 zur Vervollständigung werden hier die 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 beides. 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

```
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

sieht man diesen Aufruf nachdem das Intervall gestartet wird. Durch diesen Aufruf erhält man eine besondere Form des Observables, das *ConnectableObservable*. Grundlegend 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 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 um 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 setzen [rxd]. 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 zwischen Null und unendlich vielen Elementen ausgeben, steht Single, wie der Name schon sagt, dafür, dass immer nur einmal auf ein einziges 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 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. Die Verwendung eines Single-Objekts ist hier plausibel, da für jede Anfrage immer ein Objekt zurück geliefert wird. Geht die Anfrage raus muss nicht gewartet werden und sobald das Er-

```

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

gebnis 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 ebenso als Observer fungiert. 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 `PublicSubject` stehen noch 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 eines Fehlers 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 fehlerhaften 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 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.

```

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

## 5.9 Schedulers

Im Abschnitt zu Parallelisierung und Nebenläufigkeit wurde schon gesagt, dass jedes Observable-Objekt serialisierbar und thread-safe sein muss. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, Observables oder einzelne Bulk Operations 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.

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 eigener



```
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

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

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 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 betrieben werden.

```
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

## 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 verste-

hen, 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 ausgehende Observable, am unteren Ende des Bildes ausgegeben.

### 5.10.1 Operation filter()

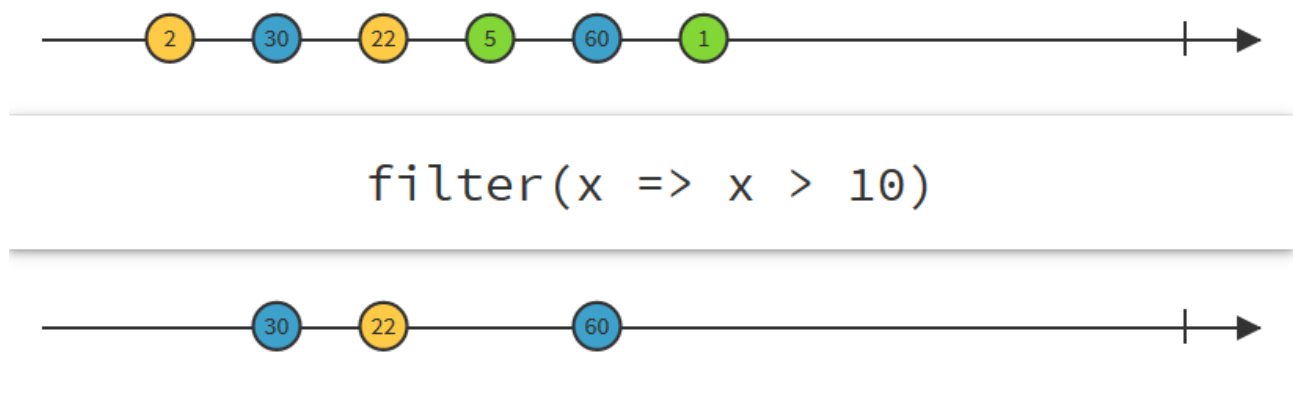


Abbildung 5.1: Datenfluss Filter-Operation

```
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

Wie sich aus dem Namen schließen lässt, handelt es sich hierbei um eine Operation die jedes Element auf Kriterien überprüft, und sofern das Element gültig ist, wird es weitergegeben. 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 Kriterium, dass nur jedes Element, das ein 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. Parametrisiert wird das 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. Innerhalb

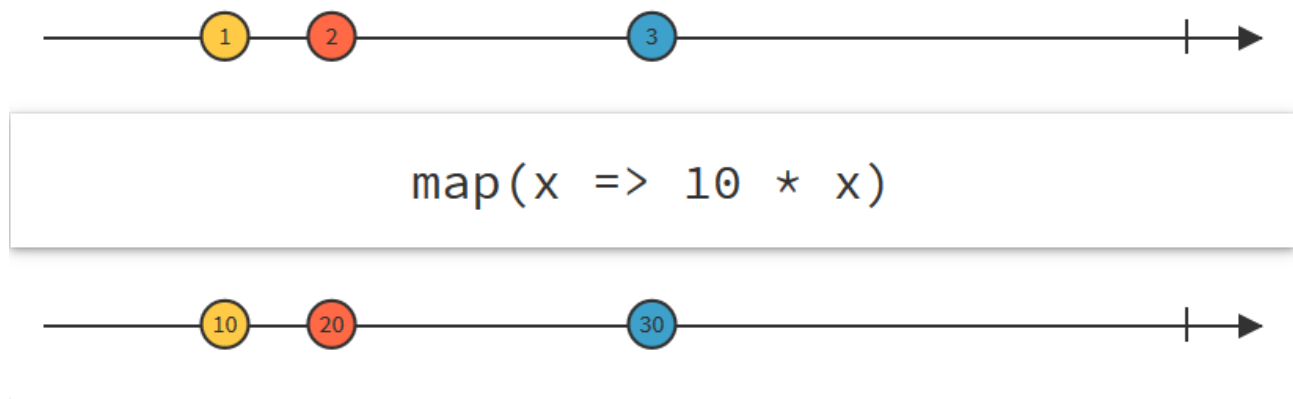


Abbildung 5.2: Datenfluss Map-Operation

```
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

des Programmcodes wird es wie erwartet als Lambda-Ausdruck dargestellt. Das mapping bildet  $x \rightarrow x \cdot 10$  ab.

### 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 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

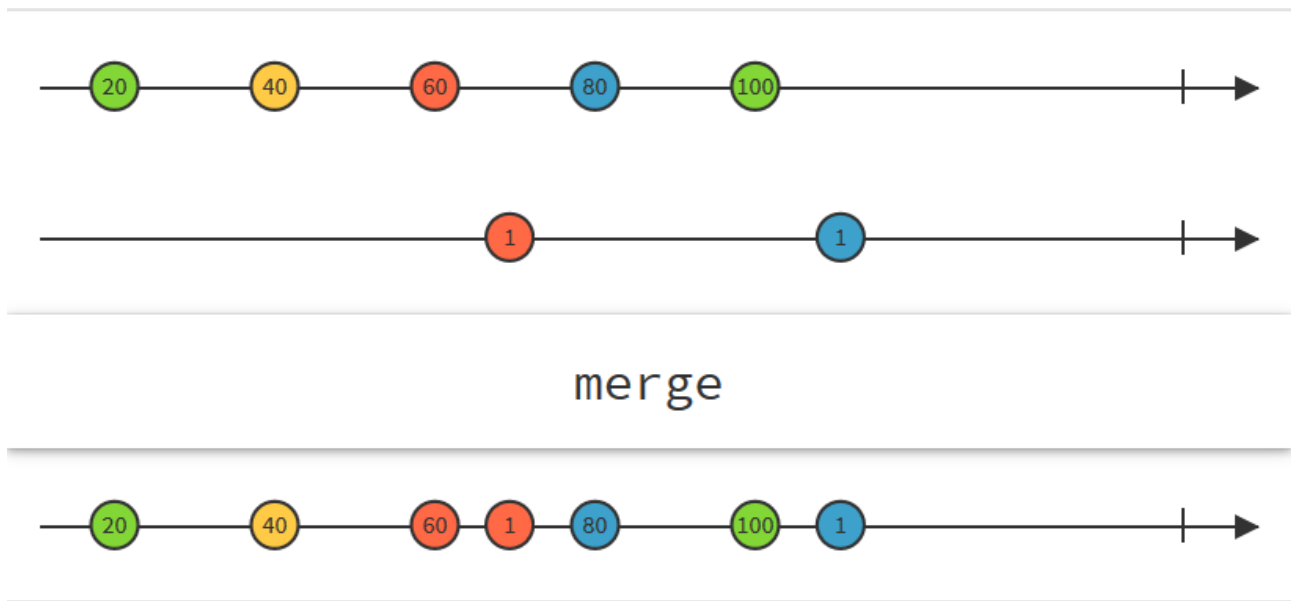


Abbildung 5.3: Datenfluss Merge-Operation

```
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 einem Observable zusammengeführt 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 veranschaulichen, ist in Listing 5.13 ein kurzes Beispiel dargestellt. Wie in der Abbildung werden einmal Zahlen, einmal Buchstaben als Observables repräsentiert und mit dem Zip-Operator

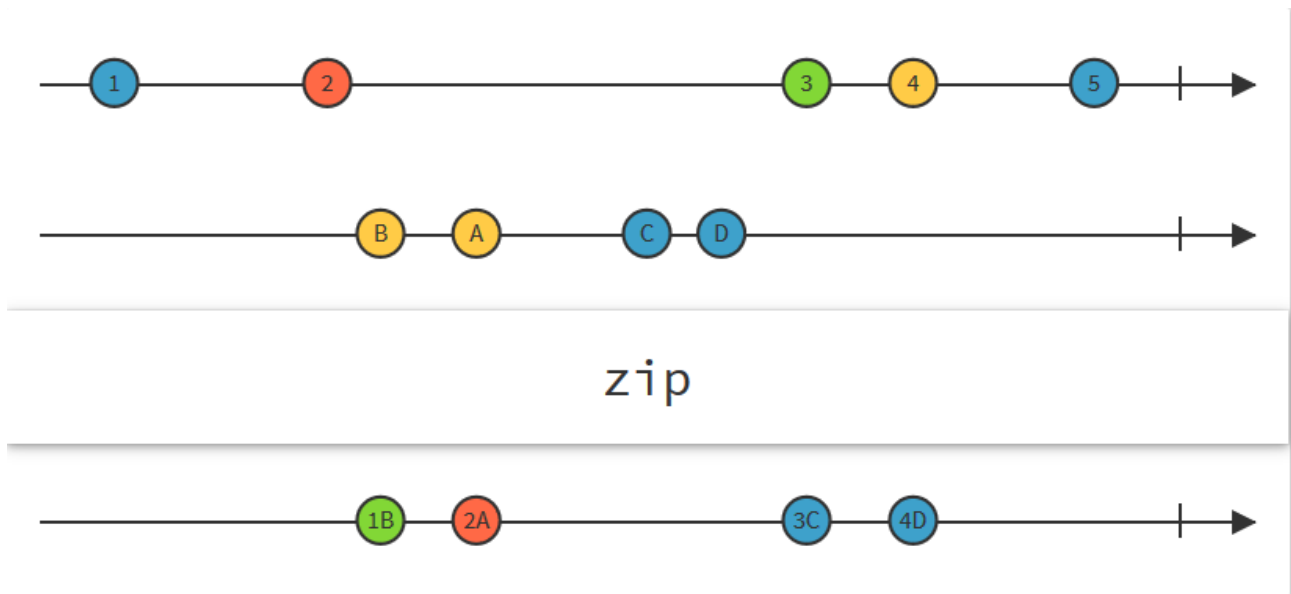


Abbildung 5.4: Datenfluss Zip-Operation

```
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

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

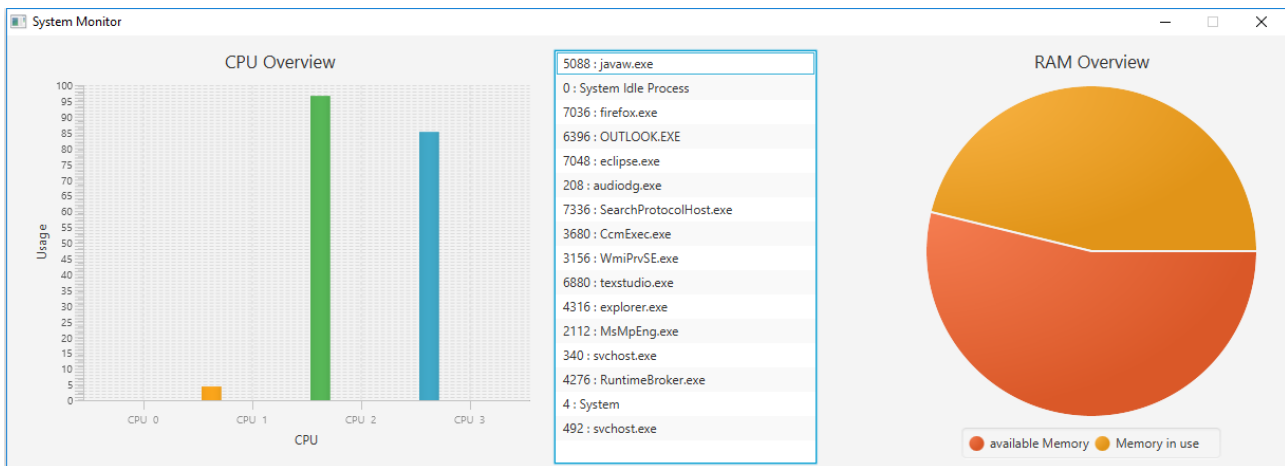


Abbildung 6.1: SystemMonitor Applikation

In diesem Kapitel soll nun eine simple 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 Arbeitsspeicher 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 dass 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 des Interfaces. Die festen Größen, wie die Anzahl der Kerne und der verfügbare Arbeitsspeicher, werden als primitive 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. Verwendung findet hier das Oshi-Framework. Dieses 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 als Double vor und repräsentieren die Stelle, welche beobachtet werden soll. Durch das Iterieren über die Anzahl der vorhandenen Kerne 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, dass 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

### 6.1.2 Observable<Long> getAvailableMemory()

In Listing 6.3 sieht man die Implementierung der Methode um den aktuell verfügbaren Arbeitsspeicher 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. Bis auf die Flexibilität der Kernanzahl ist das Vorgehen der Datenabfrage somit identisch zur *fetchCpuValues*-Methode. Somit wird hier notwendigerweise nur ein einzelnes Observable zurück gegeben.

```

@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

### 6.1.3 Observable< List<String> > getProcesses()

```
@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

Die in Listing 6.4 gezeigte Methode liefert ebenfalls ein Observable-Objekt zurück. Unterschied zu den beiden anderen Methoden 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 erstellt, parametrisiert auf den Datentyp String zur einfacheren Weiterverarbeitung. Die im Observable enthaltene Liste beinhaltet 16 Prozesse sortiert nach der CPU-Auslastung.

## 6.2 Klassenbeschreibung MainApplication

Der bisherige Teil der Implementierung hat nur die Datenbeschaffung erledigt, es fehlt die Darstellung dieser Daten auf der Oberfläche. Hierzu dient die Klasse *MainApplication*. Durch das JavaFX-Framework kann eine einfache Oberfläche implementiert werden. Durch das Erweitern der Klasse mit der abstrakten Klasse *Application* des JavaFX-Frameworks, muss die *start()*-Methode von der *MainApplication*-Klasse implementiert werden. Diese wird in der *Main*-Methode, welche ebenfalls in dieser Klasse untergebracht ist, aufgerufen, was zum Start der Anwendung führt. Innerhalb dieser Methode 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

```
@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

beschrieben. Mit der *BorderPane* als Basislayout wird ein Wurzelement 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 vorangegangenen *SystemProvider*-Klasse verwendet.

### 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

```

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;
}

```

Listing 6.6: MainApplication - Auszug aus der Implementierung der createBarChart()-Methode

werden von dem BarChart-Objekt 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 wie es auch in Listing 6.7 dargestellt ist. Der verantwortliche Datensatz der Serie subscribes dem Observable welches

```

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 6.7: MainApplication - zusätzliche Hilfsmethode setObservableChartData()

den aktuellen CPU-Wert propagiert. Somit enthält die Serie einen 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. Findet nun eine Wertänderung statt, wird diese auf dem *JavaFxScheduler.platform()*-Thread ausgeführt. Dieser Thread repräsentiert die Änderungen auf der Oberfläche. Somit wird bei jeder Wertänderung die Serie des Balkendiagramms aktualisiert. Die Implementierung der *createBarChart()*-Methode und die Verwendung der Hilfsmethode 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()

```
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 );
        } );
    return pieChart;
}
```

Listing 6.8: MainApplication - Auszug aus der Implementierung der createPieChart()-Methode

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 der PieChart-Bibliothek 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 des SystemProviders über die Verwendung der SystemProvider-Instanz. 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 6.8 zeigt diese Implementierung. Als Node für die GUI wird die PieChart von der Methode zurückgegeben.

### 6.2.3 Node createProcessList()

```
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 6.9: MainApplication - Implementierung der createProcesses()-Methode

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 der Prozesse über das Oshi-Framework abfragt. Die Beobachtung findet über die vollständige Liste statt, somit findet auch die Subscription an diesem Observable-Objekt statt. 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 6.9.

## 6.3 Beschreibung des Beispiels

Das Beispiel implementiert mehrere Methoden nach den Prinzipien des Reactive Programming. Die Systeminformationen werden über die vom Oshi-Framework zu Verfügung stehenden Methoden bezogen. Dies geschieht nach dem Pull-Verfahren, also für jede Abfrage der Daten muss ein separater Aufruf der Methode stattfinden. Hierfür dient die Instanziierung der Observables als Intervall. 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 voneinander starten. Somit findet die Aktualisierung der Werte der unterschiedlichen Kerne asynchron und nebenläufig statt. Die Datenaktualisierung der GUI muss auf dem MainThread der JavaFX-Application ausgeführt werden. Um diesen Thread nur für die vorgesehenen Aktualisierungen zu verwenden, wird bei jeder der Methoden zum Erstellen der unterschiedlichen Nodes der *JavaFxScheduler.platform()* Threadpool verwendet und zwar nur für die relevanten Datenänderungen und nicht für zusätzliche, von der GUI unabhängige, Aufgaben. 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. Durch die Vielfalt der RxJava-Bibliothek kann dieses Beispiel nur einige Aspekte dieser Bibliothek abdecken, veranschaulicht aber zumindest den grundsätzlichen Umgang mit Observables innerhalb einer Applikation.





# Kapitel 7

## Zusammenfassung und Ausblick

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 Differenzierung zwischen Reactive Programming und Reactive Systems stattgefunden. Anschließend wurden die notwendigen Bestandteile, das Observer Pattern sowie Back Pressure, der Reactive Streams geschildert. Eine mögliche Art der Implementierung dieser Prinzipien wurde mit der Beschreibung der Referenzbibliothek RxJava2 genauer betrachtet. Die notwendigen Bestandteile und Basisklassen, wie Observable oder Scheduler, wurden für ein besseres Verständnis im Detail beschrieben. Mit Code-Beispielen wurde eine mögliche Implementierung der Klassen und deren Zusammenhänge veranschaulicht. Am Beispiel eines einfachen 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 GUIs liegt klar eine Stärke dieses Programmierparadigmas. 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. Dadurch, dass die Anwendung nicht blockiert, 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 kommunizieren über das Internet, zum Beispiel über REST-Schnittstellen. 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. Auch da sich mittlerweile überwiegend Multicore-Prozessoren im Einsatz befinden, ist es möglich echtes, paralleles Event-handling zu realisieren was den Sinn der Nutzung von Reactive Programming weiter steigert. 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, dass es sich bei Reactive Programming um ein Werkzeug handelt, dass 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 APIs 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 meist sinnvoll. Im aktuellen Aufschwung der Microservice Architecture ist ein vermehrtes Aufkommen von reaktiv implementierten Services in Zukunft naheliegend. Diese Architektur kann als verteiltes System verstanden werden, es herrscht rege Kommunikation zwischen den Services oder Fremddiensten und eine asynchrone Bearbeitung von Anfragen kann den Ablauf stark zum Positiven beeinflussen. 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>. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [and] *RxAndroid Repository*. <https://github.com/ReactiveX/RxAndroid>. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [Bon] BONÉR, Jonas Klang V.: Reactive Programming versus Reactive Systems. <https://info.lightbend.com/reactive-programming-versus-reactive-systems.html>. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [Bon14] BONÉR, Jonas Farley Dave Kuhn Roland Thompson M.: the-reactive-manifesto-2.0. (2014). <http://www.reactivemanifesto.org/>. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [cyc] *Gartner: Hype Cycle of Application Development 2016*. <https://www.gartner.com/doc/3371917/hype-cycle-application-development>. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [floa] *Java 9 Doc - Class Flow*. <http://download.java.net/java/jdk9/docs/api/index.html?java/util/concurrent/Flow.html>. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [flob] *Reactive Programming with JDK 9 Flow API*. <https://community.oracle.com/docs/DOC-1006738>. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [fpw] *Funktionale Programmierung*. [https://de.wikipedia.org/wiki/Funktionale\\_Programmierung](https://de.wikipedia.org/wiki/Funktionale_Programmierung). – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [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](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>. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [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>. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [Mar05] MARTIN FOWLER: *InversionOfControl*. <https://martinfowler.com/bliki/InversionOfControl.html>. Version: 2005. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [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>. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [rsl] *Reactive Streams 1.0.0 is here!* <http://www.reactive-streams.org/announce-1.0.0>. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [rsm] *Reactive Streams*. <http://www.reactive-streams.org/>. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [rxa] *RxJavaFX Repository*. <https://github.com/ReactiveX/RxJavaFX>. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [rxd] *ReactiveX - What's different in 2.0*. <https://github.com/ReactiveX/RxJava/wiki/What%2F1%2Ftextquoterights-different-in-2.0>. – Zuletzt geprüft: 06.2017
- [rxg] *RxJava: Reactive Extensions for the JVM - offizielles GitHub Repository*. <https://github.com/ReactiveX/RxJava>. – Zuletzt geprüft: 06.2017

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Verhältnis von Google Suchanfragen zum Thema Reactive Programming seit 2012.	2
2.1	Anwendung mit Button. . . . .	4
2.2	Konsolenausgabe für die Button Events. . . . .	4
3.1	Die vier relevanten Bestandteile für ein reaktives System.Quelle [Bon14] . . . . .	8
4.1	Schematischer Aufbau eines Observer Patterns. . . . .	12
5.1	Datenfluss Filter-Operation . . . . .	28
5.2	Datenfluss Map-Operation . . . . .	29
5.3	Datenfluss Merge-Operation . . . . .	30
5.4	Datenfluss Zip-Operation . . . . .	31
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. . .	5
3.1	Lambda Beispiel in Java . . . . .	10
4.1	Beispiel Erstellung, Verarbeitung und Ergebnisermittlung von Streams. . . . .	14
5.1	Beispiel Observable Initialisierung und Subscription . . . . .	19
5.2	Beispiel Cold Observable . . . . .	20
5.3	Beispiel Hot Observable . . . . .	20
5.4	Beispiel Flowable mit BackPressureBuffer . . . . .	22
5.5	Beispiel eines Singles . . . . .	24
5.6	Beispielverwendung eines Subjects . . . . .	24
5.7	Beispielverwendung eines Processors . . . . .	26
5.8	Beispiele für Scheduling mit zwei subscribeOn-Aufrufen . . . . .	27
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	38
6.7	MainApplication - zusätzliche Hilfsmethode setObservableChartData() . . . . .	38
6.8	MainApplication - Auszug aus der Implementierung der createPieChart()-Methode	39
6.9	MainApplication - Implementierung der createProcesses()-Methode . . . . .	40