



Hochschule
Kaiserslautern
University of
Applied Sciences



Hochschule Kaiserslautern
- FACHBEREICH INFORMATIK UND MICROSYSTEMTECHNIK -

Der Titel der Arbeit

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

vorgelegt von

Vorname Nachname

12345

Betreuer Hochschule: Prof. Dr.

Betreuer PENTASYS: B. Sc.

Abstract

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

Dies ist ein Zitat.

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Was bedeutet "<i>reactive</i>" im Kontext der Softwareentwicklung	2
3	Abgrenzung zwischen Java 8 Streams und Reactive Streams	5
3.1	Java 8 Streams	5
3.1.1	Bulk Operations	6
3.2	Unterscheidung zu Reactive Streams	6
4	Bausteine von Reactive Programming	8
4.1	Observer Pattern	8
4.2	Back Pressure	9
4.3	Reactive Streams	10
5	Unterscheidung von Reactive Systems, Reactive Programming und Functional Reactive Programming	11
5.1	Differenzierung zwischen Reactive Programming und Reactive Systems	11
5.2	Reactive Programming vs. Functional Reactive Programming	13
6	Einführung in Reactive Programming mit RxJava2	15
6.1	Synchronität und Asynchronität	16
6.2	Parallelisierung und Nebenläufigkeit	16
6.3	Push und Pull	16
6.4	Observable	17
6.5	Flowable	19
6.6	Single	21
6.7	Subject	22
6.8	Processor	23
6.9	Schedulers	24
6.10	Operationen	25
6.10.1	Operation filter()	26
6.10.2	Operation map()	27

6.10.3	Operation merge()	27
6.10.4	Operation zip()	28
7	Beispiel: Implementierung eines Systemmonitors	30
7.1	Klassenbeschreibungen SServerSSeite	30
7.1.1	API für Systemwerte	30
7.2	Klassenbeschreibungen "ClientSSeite	30
7.2.1	RxJavaFx	30
7.3	Hier eventuell Testing noch beschreiben	30
8	Evaluierung	31
8.1	Ausblick	31
	Literaturverzeichnis	I
	Abbildungsverzeichnis	III
	Tabellenverzeichnis	IV

Kapitel 1

Einleitung

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

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

¹TODO: User Experience Def

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

Kapitel 2

Was 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 meist um Veränderungen an verwendeten Daten und stattfindende Ereignisse (*Events*). Ein gutes Beispiel zur Veranschaulichung ist die Benutzeroberfläche (*GUI - Graphical User Interface*). Ein Benutzer bestätigt eine vorgegebene Eingabe durch das klicken eines Button innerhalb der GUI. Dieses Event sorgt dafür, dass die Applikation einen vorgegebenen Vorgang ausführt. Dieses Vorgehen sorgt in der klassischen objektorientierten Programmierweise mit sequentiellm Ablauf sowie dem imperativen Ansatz grundsätzlich für ein stetig wachsendes Maß an Komplexität. Durch die unterschiedlichen Events die innerhalb der GUI ausgelöst werden können (Mausklick, Tastendruck, usw.) ist ein klassischer imperativer sowie sequentieller Ablauf den Programmcodes nicht realistisch, da kein Entwickler weiß, in welcher Reihenfolge und zu welchem Zeitpunkt ein, beziehungsweise welches, Event ausgelöst wird. Somit spielt hier die *Inversion of Control*, also das Umkehren der Kontrolle, eine große Rolle [Mar05]. Diese besagt, dass nicht der geschriebene Code den Ablauf beschreibt, sondern die Kontrolle bei dem Framework, welches für die Interaktion zuständig ist, liegt, und dieses entscheidet wiederum wie und wann auf ein Event reagiert wird. Im Code spiegelt sich das 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.

```
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

Im Listing 2.1 sieht man eine Klasse welche das Event Handler Interface implementiert. Das Interface liefert eine Funktion *handle(Event)* welche 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 hinzugefügt. 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 Event reagieren.

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

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

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

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

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

Die Abbildung 2.1 zeigt nun den Button an welchem der Event-Handler registriert wurde. Jeder Mouse-Event der von Button vernommen wird, löst den Handler aus. Eine Beispielausgabe sieht man in Abbildung 2.2.

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

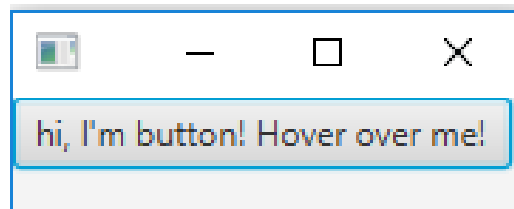


Abbildung 2.1: Anwendung mit Button.

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

Abbildung 2.2: Die Konsolenausgabe für die Button Events.

Kapitel 3

Abgrenzung zwischen Java 8 Streams und Reactive Streams

Im Verlauf dieser Arbeit wird beschrieben welche Bestandteile benötigt werden damit von Reactive Streams gesprochen werden kann. Bevor jedoch diese Bestandteile beschrieben werden, muss eine Abgrenzung zu den seit Java 8 vorhanden Streams stattfinden. Durch die ähnliche Art der Verwendung beider ist eine Verwechslung nicht ausgeschlossen, obwohl unterschiedliche Konzepte realisiert werden. Daher folgt eine kurze Beschreibung der Java 8 Streams und eine allgemeine Unterscheidung zu den im weiteren Lauf verwendeten Reactive Streams.

3.1 Java 8 Streams

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

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

3.1.1 Bulk Operations

Bulk Operations gelten als funktional in sind seit Java 8 auf Collections sowie Streams anwendbar. Diese Operation müssen nicht separat implementiert werden und können direkt auf Collections oder Streams ausgeführt werden. Jedoch sind nicht zu beiden Arten die exakt gleichen Operation verfügbar. Somit kann durch eine Operation zum Beispiel eine Veränderung an jedem Objekt einer Liste ausgeführt werden, oder eben auf jedem Objekt welches einen Stream durchquert. Die Operation können verkettet werden. Als Ergebnis werden die Elemente zum Beispiel nach der Filterung ausgegeben, oder in einer neuen Liste gespeichert. Auch bei einer Verkettung wird immer nur das Ergebnis weiter gereicht, die Eingangswerte bleiben unverändert. Erwähnung sollte noch die unterschiedliche Art von Operation finden. Es wird zwischen drei Arten von Operationen unterschieden: *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 hierfür für jeweils Arrays oder Collections Methoden an. Resultieren erhält man einen Stream. Eine Reihe von Berechnungen kann nun verkettet stattfinden, zum Beispiel eine Transformation oder Filterung nach Kriterien. Sind die Operationen abgeschlossen wird das Ergebnis zum Beispiel auf der Konsole ausgegeben oder in einem Datentyp gespeichert. Konkret ist der Ablauf in Listing 3.1 zu sehen. Wie vorhin schon erwähnt wird via Methodenaufruf eine Stream-Repräsentation der Collection geschaffen. Die Berechnung beziehungsweise Bearbeitung finden in der Konkatination 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 ein 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 noch beliebig viele Stream-Objekte von einer Collection erstellt werden, jedoch ist die Traversierung, und somit die Verwendung, eines Streams nur einmalig möglich.

3.2 Unterscheidung zu Reactive Streams

Die vorab beschriebenen Streams und ihre Operation funktionieren durch die Verwendung des Pull-Verfahrens. Mittels Iterator wird immer ein weiteres Element von der Datenquelle geholt und darauf die Operationen ausgeführt. Ebenso sind die Streams endlich, da nach der oder den

Operationen der Stream terminiert. Auch sind diese Streams nur einmalig verwendbar. Wird von Reactive Streams gesprochen gelten diese Eigenschaften nicht. Es wird nach dem Push-basierten Verfahren gehandelt, was heißt, das nicht mit dem Iterator gearbeitet wird. Auch müssen diese Streams nicht endlich sein, was wiederum heißt, dass die Anzahl der Elemente nicht vorab bekannt sein muss. Auch 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 reaktiven Verhalten implementiert wurden. Diese signifikanten Unterschiede zeigen, dass wenn auch in beiden Fällen von Datenströmen gesprochen wird, der grundlegende Gedanke wie mit Streams umgegangen wird eine vollkommen andere ist.

Kapitel 4

Bausteine von Reactive Programming

Durch große Datenraten, Datenmengen und vielen vernetzten Geräte und Dienste die zur heutigen Zeit in Umlauf sind, entstehen viele Informationen die verarbeitet werden können beziehungsweise müssen. Durch die vielen Berechnungen und Verarbeitungsschritte die dafür nötig sind, spielt hier das Gesetz von Amdahl eine große 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 gutes Beispiel heran ziehen. Man betrachtet 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 Art Thermometer dargestellt werden. Ebenso soll die aktuelle Temperatur in Schrift(*LabelForTemp*) auf der GUI erscheinen. Die beiden Objekte implementieren beiden 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

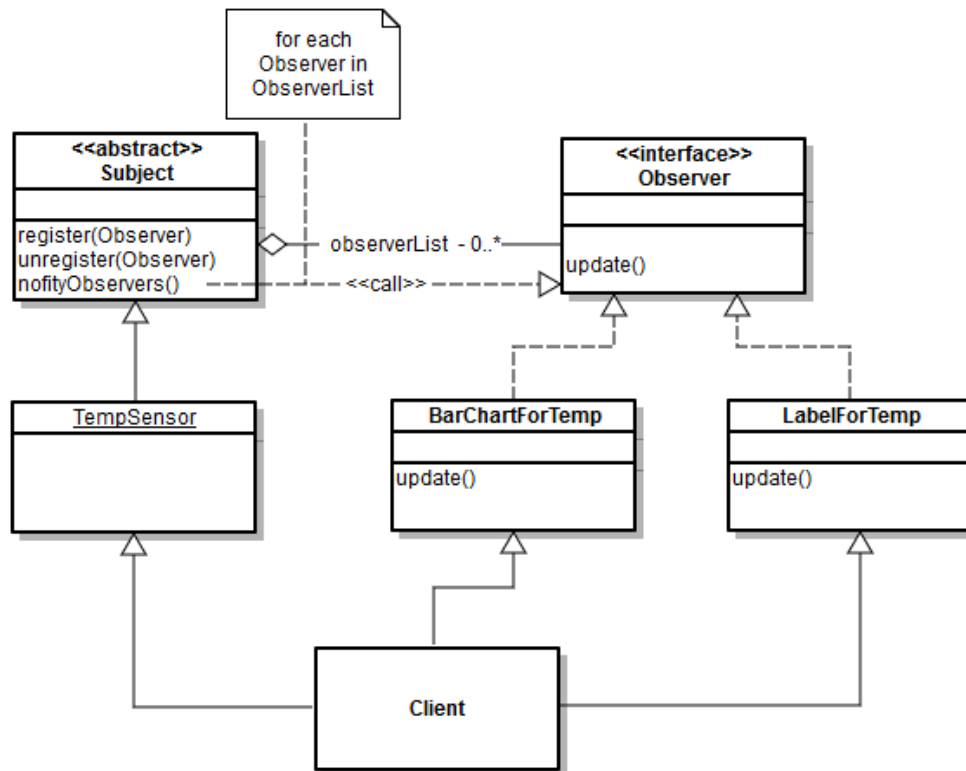


Abbildung 4.1: Schematischer Aufbau eines Observer Patterns.

über die Liste der Observer iteriert wird und die *update()*-Methode jedes Observers aufgerufen wird. Diese Methoden 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, muss jedoch über die Getter-Methoden die für ihn relevanten Wert 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 wissen muss. Jedoch sinkt dadurch die Flexibilität, da Observer Interfaces exakter beschrieben werden müssen, damit das Subject weiß, welche Information weiter gereicht werden sollen. Die Kopplung im Vergleich zum Pull-Ansatz ist nicht wirklich lose, da jeder Beobachter wissen muss, welche Daten das observierte Objekt repräsentiert und wie auf diese Daten zugegriffen werden kann. Jedoch findet sich hier die Flexibilität wieder, da jeder Beobachter wenn er Information braucht, exakt diese Daten abrufen kann und sich nicht auf die korrekte Datenverteilung des Subjects verlassen muss.

4.2 Back Pressure

Der weitere wichtiger Aspekt der Reactive Streams ist ein nicht blockierender Back Pressure. Man betrachtet hier den Push-Ansatz. Ein Producer generiert Daten, die ein Consumer

verarbeitet. Es kann nun passieren das mehr Daten produziert werden als konsumiert werden können. Wird darauf nicht reagiert, kann es zu starken Ressourcenproblemen oder zu einem Programmabsturz durch einen *OutOfMemoryError* kommen. Um dies zu verhindern, benötigt man eine Möglichkeit, die Anzahl der zu verarbeitenden Objekte zu regulieren. Ein sogenannter *Feedback Channel* steht dafür zur Verfügung. Über diesen kann ein Consumer seinem Producer mitteilen, mit wie vielen Objekten er maximal umgehen kann. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit auf Seiten des Producers seine Datenbeschaffung und Datenweitergabe zu regulieren, sodass der Producer zu jeder Zeit verwendbar bleibt und nicht blockiert. Dies besteht jedoch nur, wenn es dem Producer auch möglich ist, seine Geschwindigkeit zu steuern. Zu beachten ist, dass jeder Consumer über einen Puffer 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 die Streams observiert und die Daten werden den Observern publiziert. Verfügen diese Observable Streams nun über die Funktionalität des Back Pressures ist eine nicht blockierende asynchrone Bearbeitung möglich. Nach diesen Voraussetzungen wurde in der Welt der JVM die Initiative der *Reactive Streams* geschaffen, um einen Standard für diese Art von Verarbeitung zu etablieren [rsm]. Das zusätzlich zu bewältigenden 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 [floa]. Ein Anwendungsbeispiel wird von der offiziellen Java-Community bereits zur Verfügung gestellt [flob].

Kapitel 5

Unterscheidung von Reactive Systems, Reactive Programming und Functional Reactive Programming

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

5.1 Differenzierung zwischen Reactive Programming und Reactive Systems

Bislang wurde von einem reinen Vorgehen für eine passende Implementierung gesprochen. Wie jedoch wirkt es sich aus, wenn eine komplette Anwendung reaktiv reagieren soll? Wie verhält es sich weiter wenn mehrere Teile reaktiv funktionieren und kommunizieren sollen? Der grundlegende Gedanke reaktiver Systeme wurde schon im Jahre 1985 in einem Paper von D. Harel und A. Pnueli beschrieben [HP85]. Zur heutigen Zeit jedoch bezieht man sich bei Richtlinien zur Gestaltung reaktiver Anwendungen 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 Manifest stützt sich auf einen Architektur- beziehungsweise 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 5.1 aufgezeigt werden. Wie in diesem beschrieben sind Reaktive Systeme:

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

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

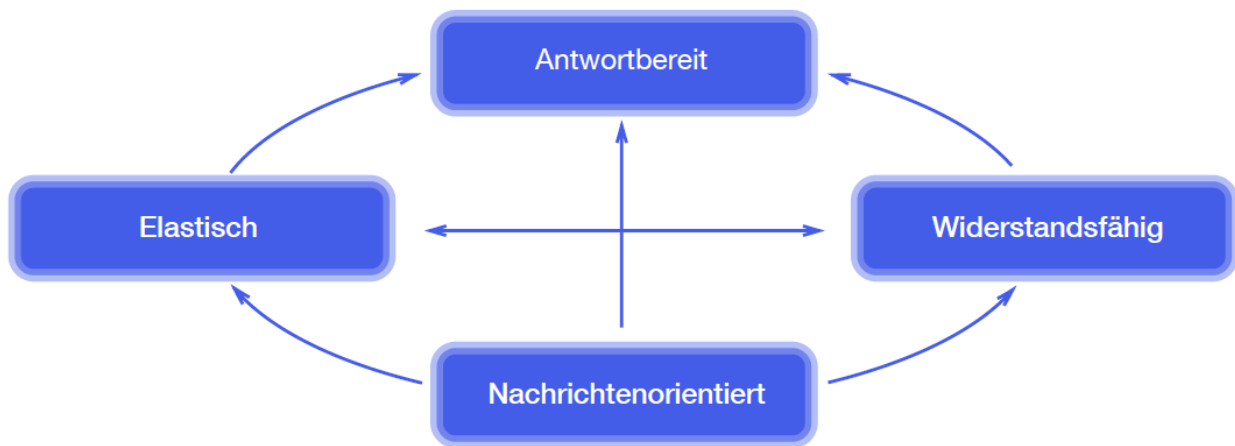


Abbildung 5.1: Die vier relevanten Bestandteile für ein reaktives System. Quelle [Bon14]

lage für die Benutzbarkeit besagten Systems. Ebenso wird um eine Fehlerbehandlung durchführen zu können eine geregelte Antwortbereitschaft vorausgesetzt.

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

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

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

Das System muss bei sich ändernden Lasten die Funktionalität und Antwortbereitschaft aufrecht erhalten. Ressourcen müssen den auftretenden Lasten, ob steigend oder sinken, angepasst werden können. Ebenso müssen Engpässe innerhalb des Systems unterbunden werden um die Elastizität zu bewahren.

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

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

Das Manifest beschreibt jedoch nicht den Zusammenhang von Reactive Systems zum Reactive Programming. Wohl aus diesem Grund hat Jonas Bonér einen weiteren Artikel verfasst, der sich dieser Thematik annimmt [Bon]. Die grundlegenden Unterschiede wurde in dem Artikel wie folgt zusammengefasst:

- Reactive Programming ist eine Teilmenge von reaktiven Systemen auf Implementierungsebene

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

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

5.2 Reactive Programming vs. Functional Reactive Programming

Auf der Suche nach einer Definition zu Reactive Programming stößt man oft auf es Begriff Functional Reactive Programming. Teilweise werden die Begriffe sogar synonym verwendet [NC17]. Grundlegend betrachtet man bei den bekannten Programmierparadigmen zwischen imperativen und deklarativen Paradigmen, wobei zum Beispiel die objektorientierte Programmierung im imperativen und funktionale Programmierung im deklarativen Bereich angesiedelt wird. Funktionale Programmierung zeichnet vor allem die Nutzung des Lambda-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 beschrieben 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:

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

Listing 5.1: Lambda Beispiel in Java

In 5.1 wird jedes der Listenelemente 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 kann. 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 weiter gereicht.

Kapitel 6

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 erschaffen. 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 Erweiterung. Folgend wurde von Ben Christensen und Jafar Husain als Entwickler bei Netflix die Erweiterung für Java geschrieben und auf GitHub veröffentlicht. Es folgten viele weitere Implementierungen für zum Beispiel Ruby, Python oder JavaScript. Die Bibliothek der Reactive Extensions ist sehr klein, bringt jedoch die nötigen Eigenschaften mit, um asynchrone und nicht blockierende Anwendungen zu entwickeln. ReactiveX sagt über sich, dass die besten Ideen des Beobachtermusters, des Iteratormusters sowie der funktionalen Programmierung hinter ihrer Art der Implementierung steckt. Die Schon in Java vorhandenen Klassen wurden überlagert und für ein reaktives Verhalten gerüstet. Aktuell wird RxJava als Version 1 und Version 2 entwickelt. In Version 2 wurden Änderungen vorgenommen um den Vorgaben der Asynchronität und der Verwendung des Back Pressures der Reactive Streams Initiative zu genügen. Da es sich nicht nur um eine Erweiterung sondern um eine Neuentwicklung parallel zu Version 1 handelt, sind im Moment beide Versionen im Entwicklungsstatus. RxJava2 wird in dieser Arbeit als Referenzbibliothek verwendet.[rxg].

Der zentrale Baustein dieser Bibliothek ist die Observable-Klasse im Zusammenspiel mit dem Observer Interface. Ein Observable repräsentiert einen Data- beziehungsweise Eventstream. Es ist für das Push-Verfahren konzipiert (reaktiv) kann aber auch mit dem Pull-Vorgehen verwendet werden (interaktiv) [NC17]. Es folgt nun eine kurze Schilderung wie die wichtigsten Eigenschaften erreicht werden bevor die eigentlichen Struktur, im Genauen eine Beschreibung der Basisklassen, der Bibliothek veranschaulicht wird. Diese Eigenschaften wurden vom bereits erwähnten Ben Christensen in Kapitel 1 innerhalb des Buches von Tomasz Nurkiewicz beschrieben [NC17].

6.1 Synchronität und Asynchronität

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

6.2 Parallelisierung und Nebenläufigkeit

Wie bekannt sein dürfte ist die Parallelisierung und Nebenläufigkeit eher 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 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.

6.3 Push und Pull

Wird synchrones Pulling von Objekten einer Liste über das Iterable Interface durchgeführt, so wird im Gegenzug ein asynchrones Pushing via Observable realisiert. Beide Schnittstellen bieten die gleiche Funktionalität nur der Datenfluss findet in die entgegengesetzte Richtung statt. Durch diese Dualität können beide Vorgehen äquivalent verwendet werden. Will man ein weiteres Objekt einer Liste über den Iterator abfragen, wird die `next()`-Methode aktiv aufgerufen und wenn vorhanden wird ein weiteres Objekt dem Verbraucher zurück gegeben. Hingegen

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

Tabelle 6.1: Vergleich zwischen Funktionalität der Iterable- und Observable-Schnittstelle. Quelle [mai]

wird bei der Verwendung von Observables die Daten des Streams mit der `onNext()`-Methode¹ des Verbrauchers gepusht. Wie die Tabelle 6.1 zeigt gilt dies ebenso beim Auftreten eines Fehlers oder beim Erreichen des Endes der Datenquelle. Die Verbindung zwischen Observable und Observer findet über ein Subscription statt. Damit werden die beiden zu einem Paar gebunden und die entsprechenden Methoden des Observers können nun von dem Stream angesprochen werden. Dies beschreibt auch noch eine weitere Eigenschaft. Ein Observable publiziert nur die Ereignisse wenn es jemanden gibt der diese Ereignisse auch fordert. Dies wird auch als *faul* Verhalten bezeichnet. Somit wird das Arbeiten durch das Subscriben und nicht durch das Erstellen eines Observables verursacht. Im Vergleich dazu kann ein Objekt vom Typ Future betrachtet werden. Wird ein Future erstellt, wird auf ein Ergebnis gewartet, welches direkt und einmalig asynchron ausgeführt wird und innerhalb des Futures zur Verfügung steht sobald das Ereignis abgeschlossen ist. Ein mehrfaches Ausführen eines Futures ist nicht möglich, anders als beim Observable wo zu jeder Zeit ein weiterer Subscriber hinzu kommen kann. Somit ist ein Observable-Objekt beliebig oft verwendbar.

6.4 Observable

Es wurde in den vorherigen Abschnitten schon etwas über das Observable gesagt, doch der Vollständigkeit halber wird hier seine Eigenschaften und Fähigkeiten zusammengefasst beschrieben. Es handelt sich hierbei um die Quintessenz der RxJava Bibliothek.

```
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 6.1: Beispiel Observable Initialisierung und Subscription

Der Ereignisstrom über einen Zeitraum wird von dem Observable repräsentiert. Dieser Ereignisstrom ist jedoch variabel. Weder muss die Anzahl der auftretenden Ereignisse bekannt sein,

¹Diese Methode wird durch ein Auftreten eines Ereignisses oder von Daten im Stream aufgerufen. Somit handelt es sich bei dieser Art Methode um Callback Methoden.

noch müssen diese in einem geregelten Intervall auftreten. Ebenso wenig muss der Zeitraum begrenzt sein, was bedeutet, dass es sich auch im unendliche Eventstreams handelt kann. Die Tabelle 6.1 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 wird kommuniziert mit der *onError(Throwable)*-Methode. Somit gilt:

$$OnNext \cdot (OnComplete|OnError)?$$

Daraus resultiert das entweder ein gewolltes Ende oder ein unvorhergesehener Fehler auftritt, aber niemals beides². Schaut man sich nun Listing 6.1 an, sieht man den Ablauf. Ein Observable wird initialisiert³, hier mit drei Elementen, also ein endlicher Stream. Durch das *subscribe* wird anonym ein Subscriber beschrieben. 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*.

```
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 6.2: Beispiel Cold Observable

Wie hier in Listing 6.2 zu sehen werden zwei Objekte des Observable-Streams erstellt. Es ist zu beachten, dass somit jeder Subscriber einen eigenen Timer bekommt. Will man nun aber die beiden Rechenoperation immer auf den selben Wert durchführen wird es auf diesem Wege nicht funktionieren. Somit muss es die Möglichkeit geben diese Informationen zu teilen.

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

²pdf in bib aufnehmen und zum regex binden

³Es gibt unterschiedliche Methoden je nach Objektart welche als Observable dargestellt werden soll. Eine Liste finden man hier: <https://github.com/ReactiveX/RxJava/wiki/Creating-Observables>

```
connectable.subscribe( s -> System.out.println( s ) );  
Thread.sleep( 5000 );  
connectable.subscribe( s -> System.out.println( s ) );  
Thread.sleep( 10000 );
```

Listing 6.3: Beispiel Hot Observable

Der Methodenaufruf *publish()* ist hier der Schlüssel. In Listing 6.3 sieht man diesen Aufruf, nachdem das Intervall gestartet wird. Durch diesen Aufruf erhält man eine besondere Form des Observables, das *ConnectableObservable*. Grundsätzlich hat sich am Aufbau des Observables nichts geändert, jedoch beginnt das Ausgeben der Daten nicht durch eine Subscription, sondern durch das Aufrufen der *connect()*-Methode. 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 erfahren. Es macht zum Beispiel Sinn, wenn eine Mausbewegung getrackt wird, da neue Subscriber nicht wissen müssen wo sich der Mauszeiger vorher befand, sondern 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. Handelt es sich um einen Stream über den man keine konkrete Kontrolle hat, wie ein Stream für Ein- und Ausgabe, wird man meist auf Hot Observables zurück greifen.

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

6.5 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 *implements 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 Observable oder aber auf Flowable zu setzen [rxd]. Wann sollte man Observable 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 nicht durch ihr unregelmäßiges Auftreten schlecht gepuffert werden. Außerdem ist das Auftreten meist geringfügig. Elemente in der Auftrittshäufigkeit von maximal 1000 Hz sollte 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 Flowable 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 das geschieht via Pull 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 werden und nach und nach abgearbeitet werden können.
- 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 auch in Zukunft verwendet werden wird.

Jedes Observable oder Flowable Objekt besitzt eine Puffer um nicht verarbeitete Daten zwischen zu speichern. Diese Größe beträgt standardmäßig 128 Objekte, kann jedoch auch geändert werden. Betrachtet man das Listing 6.5 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 jede Subscription 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.

```
Flowable< String > flowing = Flowable.just( "Java", "Kotlin", "Scala" );
flowing.onBackpressureBuffer( 3 ).subscribe( s -> {
    System.out.println( s );
}, t -> {
    t.printStackTrace();
}, () -> {
    System.out.println( "finish" );
} );
```

Listing 6.4: Beispiel Flowable mit BackPressureBuffer

Um nun die Verwendung des Feedback-Kanals noch zu betrachten, wurde das Beispiel um einen *DefaultSubscriber* erweitert.

```
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 6.5: DefaultSubscriber mit Back Pressure

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 würde nun im BackPressureBuffer unterkommen und bei weitere Anfragen zur Verfügung gestellt werden. Wie schon erwähnt ist dies in diesem kurzen Beispiel jedoch nicht nötig und dient nur zur Erklärung der Funktionsweise.

6.6 Single

Wo Observables oder Flowables eine Menge von Null bis endliche viele Elemente ausgeben, steht Single, wie der Name schon sagt, dafür, dass immer nur ein Wert ausgegeben wird. Somit sind auch die drei bekannten Methoden zur Datenausgabe hier überflüssig. 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.

```
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 6.6: Beispiel eines Singles

In Listing 6.6 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 Operation statt. In der *subscribe()*-Methode sieht man die zwei Lambda-Ausdrücke die wieder die möglichen Methodenaufrufe, also bei Erfolg oder Fehlerfall, die ausgeführt werden können. Ein Beispiel für die Verwendung von Single findet sich zum Beispiel bei einer HTTP-GET Anfrage. Man möchte ein Objekt abrufen, und sobald es angekommen ist, soll es verwendet werden. Da dieser Aufruf für immer nur ein Objekt stattfindet, lohnt sich hier die Verwendung des Singles. Geht die Anfrage raus muss nicht gewartet werden, und sobald das Ergebnis eingetroffen ist, wird die *onSuccess()*-Methode aufgerufen oder eben im Fehlerfall die *onError()*-Methode.

6.7 Subject

Also Subject versteht man ein Objekt, dass sowohl als Observable und auch als Observer fungieren kann. Es kann an mehreren Observables subscriben, diese Daten verarbeiten und seinen eigenen Subscribern weiterleiten.

```
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 6.7: Beispielverwendung eines Subjects

Um es das Vorgehen bei Verwendung eines Subject zu veranschaulichen betrachten wir Listing 6.7. Wir erstellen wieder das schon bekannte Observable-Objekt und ein Subject, hier ein speziell ein *PublishSubject*. Dieses Subject bekommt eine Subscription in welcher alle String-Werte in Großbuchstaben umgewandelt und anschließen auf der Konsole geschrieben werden. Wenn nun das Subject selbst an dem vorhanden Observable subscribed, werden die von diesem ausgegebenen Werte an gemapped und an die Subscription des Subject weitergegeben. Zusätzlich zum *PublishSubject* stehen noch drei weitere Arten zur Verwendung bereit:

- AsyncSubject: Ein *AsyncSubject* gibt seinen Subscribern nur den letzte Wert der Quelle weiter, und das auch nur falls das Quell-Observable beendet wurde. Endet es durch einen Fehler wird die Fehlermeldung direkt an die Subscriber des Subjects weiter gereicht.

- BehaviorSubject: Ein BehaviorSubject beginnt sobald es einen Subscriber verzeichnet kann mit der Übermittlung des letzten Wertes der Quelle, oder mit einem Standardwert falls von der Quelle noch nichts ausgegeben wurde. Anschließend werden alle weiteren Werte weitergegeben. Auch hier wird bei Auftreten einen Fehler die Meldung direkt durchgereicht.
- PublishSubject: Ein PublishSubject überträgt genau die Werte, die von seiner Quelle in dem Zeitraum, in welchem auch eine Subscription vorliegt, ausgegeben wurden. Alles vorherige wird nicht übermittelt. Somit liegt ein Verhalten eines Hot-Observables vor.
- ReplaySubject: Ein ReplaySubject überträgt an jeden Subscriber alle Werte die jemals von seiner Quelle ausgegeben wurden. Dies ist mit Vorsicht zu genießen da hier natürlich ein Back Pressure Problem nahe liegt.

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

6.8 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.

```
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 6.8: Beispielverwendung eines Processors

In Listing 6.8 ist ein einfaches Beispiel zu finden. Die Ähnlichkeit zur Subject-Klasse ist unverkennbar. Jedoch werden hier eben die Flowables verwendet, und das Back Pressure kann

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.

6.9 Schedulers

Im Abschnitt zu Parallelisierung und Nebenläufigkeit wurde schon beschrieben, dass jedes Observable-Objekt serialisierbar und thread-safe sein muss. Eine Möglichkeit dieses Ziel zu erreichen ist die Verwendung von Threads. 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 Funktion.

- subscribeOn: Wird diese Funktion aufgerufen wird das Observable als ganzen auf den von Scheduler bereit gestellten Thread bearbeitet. Finden mehrere Aufrufe statt wird immer nur der erste Aufruf umgesetzt, da die Ausführung des Observable durch die Thread-Sicherheit immer nur auf einem Thread ausgeführt werden.
- observeOn: Hier wird nicht der Observable Stream an sich betrachtet sondern die Elemente. Somit ist es möglich, dass Operationen und Subscriptions jedes Mal auf einem neuen Thread stattfinden können.

```
{
Observable< String > obs0 = Observable.just( "Java", "Kotlin", "Scala" );
// Aufruf 1
obs0.subscribeOn( Schedulers.newThread() ).map( foo ).subscribe( s -> {
    System.out.println( s + ": " + Thread.currentThread().getName() );
} );
// Aufruf 2
obs0.subscribeOn( Schedulers.newThread() ).map( foo ).subscribeOn(
    Schedulers.newThread() ).subscribe( s -> {
        System.out.println( s + ": " + Thread.currentThread().getName() );
    } );

// Aufruf 3
obs0.map( foo ).observeOn( Schedulers.newThread() ).subscribe( s -> {
    System.out.println( s + ": " + Thread.currentThread().getName() );
} );
// Aufruf 4
obs0.observeOn( Schedulers.newThread() ).map( foo ).subscribe( s -> {
    System.out.println( s + ": " + Thread.currentThread().getName() );
} );
// Aufruf 5
```

```

obs0.observeOn( Schedulers.newThread() ).map( foo ).observeOn( Schedulers.
    newThread() ).subscribe( s -> {
        System.out.println( s + ": " + Thread.currentThread().getName() );
    } );

Thread.sleep( 5000 );
}

static Function< String, String > foo = new Function< String, String >()
{

    @Override
    public String apply( String t ) throws Exception
    {
        System.out.println( "mapping: " + Thread.currentThread().getName() );
        return t.toLowerCase();
    }
};

```

Listing 6.9: Beispiele für Scheduling

In Listing 6.9 sind beide Varianten aufgelistet. Im Ersten Abschnitt wird das Observable mit allen Operationen und Subscription auf einem neuen Thread ausgeführt. Im zweiten Abschnitt wird *observeOn* verwendet. Hier findet der Aufruf der *map()*-Operation noch auf dem Main-Thread statt, die Subscription wird auf einem vom Scheduler erstellen neuen Thread ausgeführt. Es folgt der dritte Aufruf. Hier wird auch das Mapping schon auf einem neuen Thread ausgeführt. Gleichbleibend für die anschließende Subscription. Schlussendlich noch der vierte Abschnitt mit zwei *observeOn* Aufrufen, je einmal für die Operation und einmal für die Subscription. Hier werden beide auf jeweils neuen und unterschiedlichen Threads ausgeführt. Auf der Konsole sieht die Ausgabe aus wie in Abbildung 6.1 zu erkennen. Der *RxNewThreadScheduler* verwaltet die Threads die an den unterschiedlichen Endnummern identifiziert werden können. Vergleicht man nun die verwendeten Threads mit dem Programmcode ist die Unterscheidung von *subscribeOn()* zu *observeOn()* deutlich zu sehen.

6.10 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 solche einer Operation stattfindet. Um die ganze Mechanik besser zu verstehen, werden folgend vier der gängigen Operationen veranschaulicht. Zur Veranschaulichung werden sogenannte Marble-Diagramme verwendet. Die oberer Linie stellt immer ein Observable-Stream dar in zeitlichem Ablauf, also ähnlich einem Zeitstrahl. Jedes Element, dargestellt durch die farblichen Marbles, wird durch die mittlere Operation geführt und auf das ausgehenden Obser-

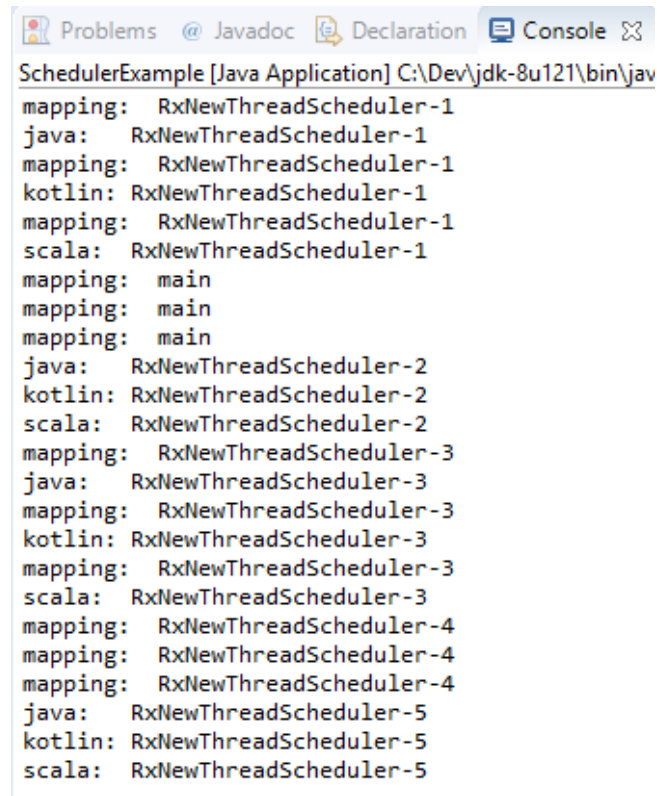


Abbildung 6.1: Datenfluss Filter-Operation

vable, immer am unteren Ende des Bildes ausgegeben.

6.10.1 Operation filter()

Wie der Name schon sagt, handelt es sich bei Filter um eine Operation die einen Ausdruck prüft, und sofern das Element gültig ist, wird es weitergeben. Verwendet wir hier der von RxJava mitgebrachte Datentyp *Predicate*. Er beinhaltet eine Methode *test()* welche ein boolean zurück liefert. Somit ist es möglich einfache aber auch komplexere Überprüfungen innerhalb der Filter-Operation auszuführen. Im Bild 6.2 sieht man eine Filterung nach dem Kriterium, dass nur jeden Element, das eine Wert größer 10 inne hält, 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 6.10. Innerhalb des Predicate wird die *test()*-Methode überschrieben und die Prüfung ob der Wert größer 10 ist durchgeführt.

```

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 );
    }
}

```

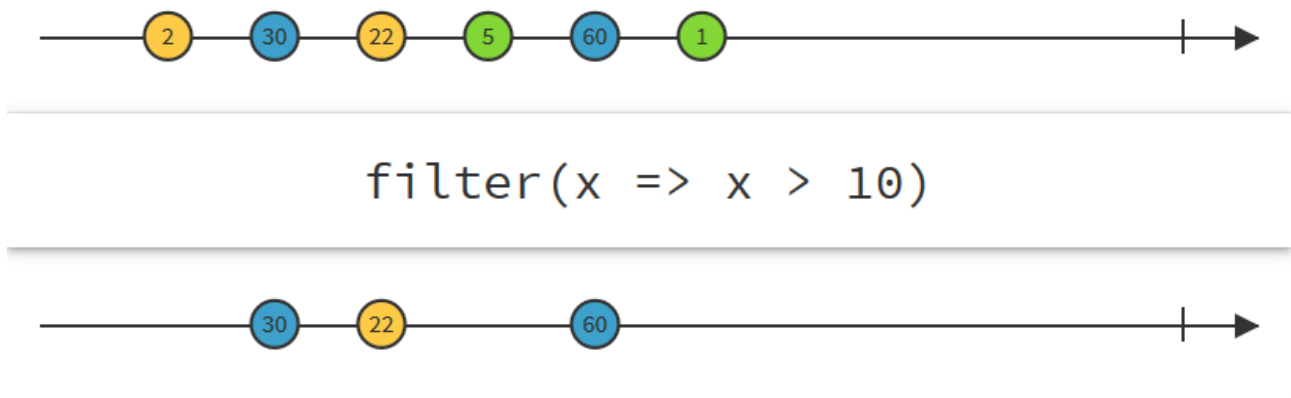


Abbildung 6.2: Datenfluss Filter-Operation

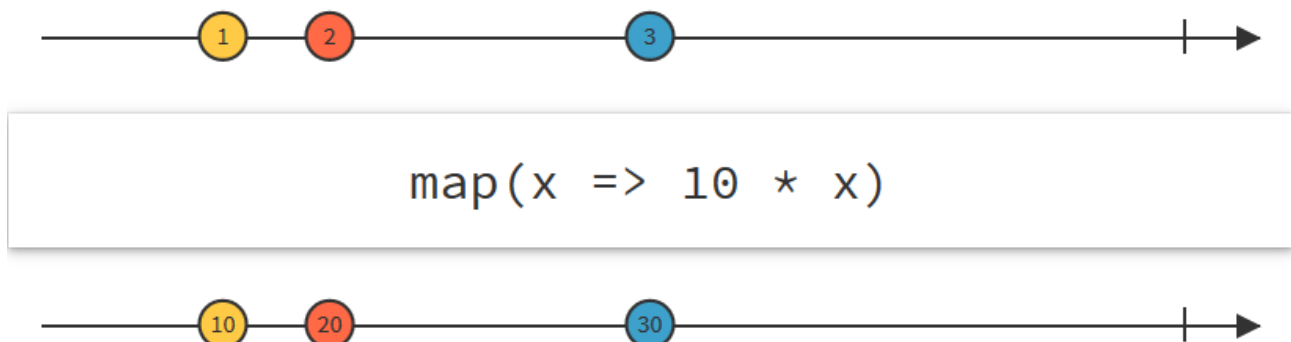


Abbildung 6.3: Datenfluss Map-Operation

```
};
obs0.filter( p ).subscribe( x -> System.out.println( x ) );
```

Listing 6.10: Beispiel Filter Operation

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

6.10.2 Operation map()

Die Map-Operation gilt als Transformationsoperation. Ihre Aufgabe ist es, jeden auftretenden Wert auf eine Funktion abzubilden und das Resultat auszugeben. In Abbildung 6.3 sieht man auf dem ursprünglichen Observable drei auftretenden Elemente. Jedes dieser Elemente wird mit 10 multipliziert und danach auf das resultierenden Observable ausgegeben.

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

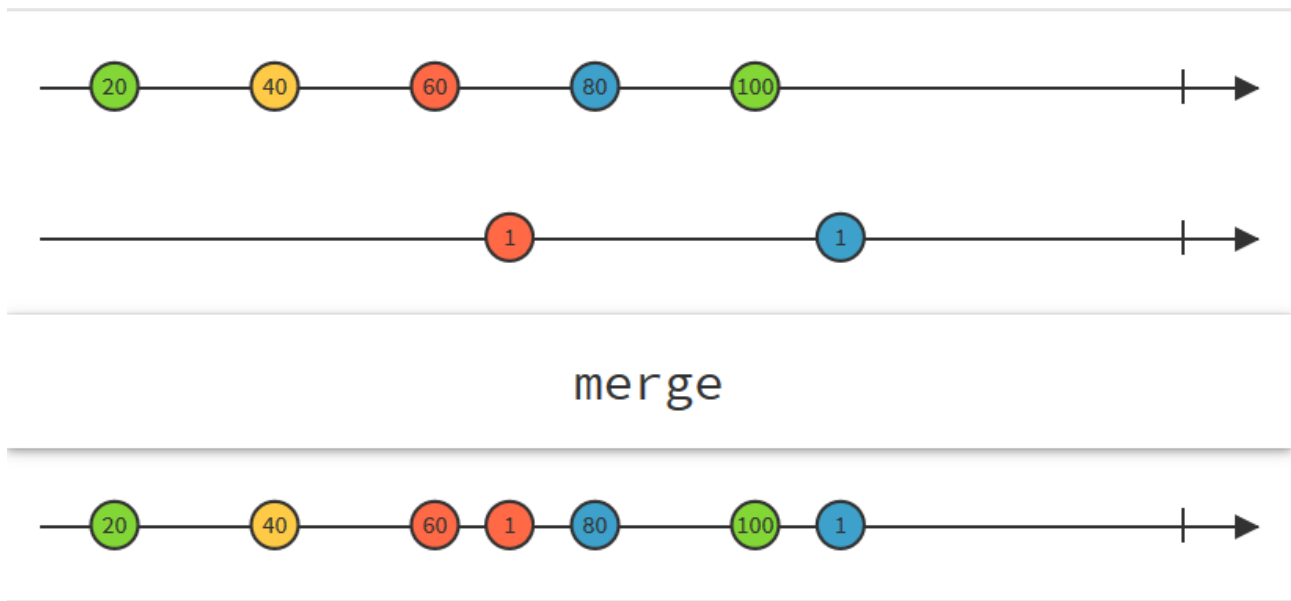


Abbildung 6.4: Datenfluss Merge-Operation

Listing 6.11: Beispiel Map Operation

In Programmcode wird es wie erwartet als Lambda-Ausdruck dargestellt. Innerhalb des Mapping wird $x \rightarrow x \cdot 10$ abgebildet.

6.10.3 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 6.4 wird deutlich wie die Komposition stattfindet. Zu jedem Zeitpunkt 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.

```
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 6.12: Beispiel Merge Operation

Im Listing 6.12 ist die entsprechende Implementierung zu erkennen. Eines der Observables beinhaltet die Werte in zwanziger Schritten, das weitere produziert jede Nanosekunde ein Element. Das Mapping muss stattfinden, da immer nur Elemente eines Datentyps in ein Observable zusammen geführt werden können. Dadurch dass das Intervall jede Nanosekunde Werte ausgibt und die Operation erst in dem Moment endet, in welchem alle Observables abgeschlossen

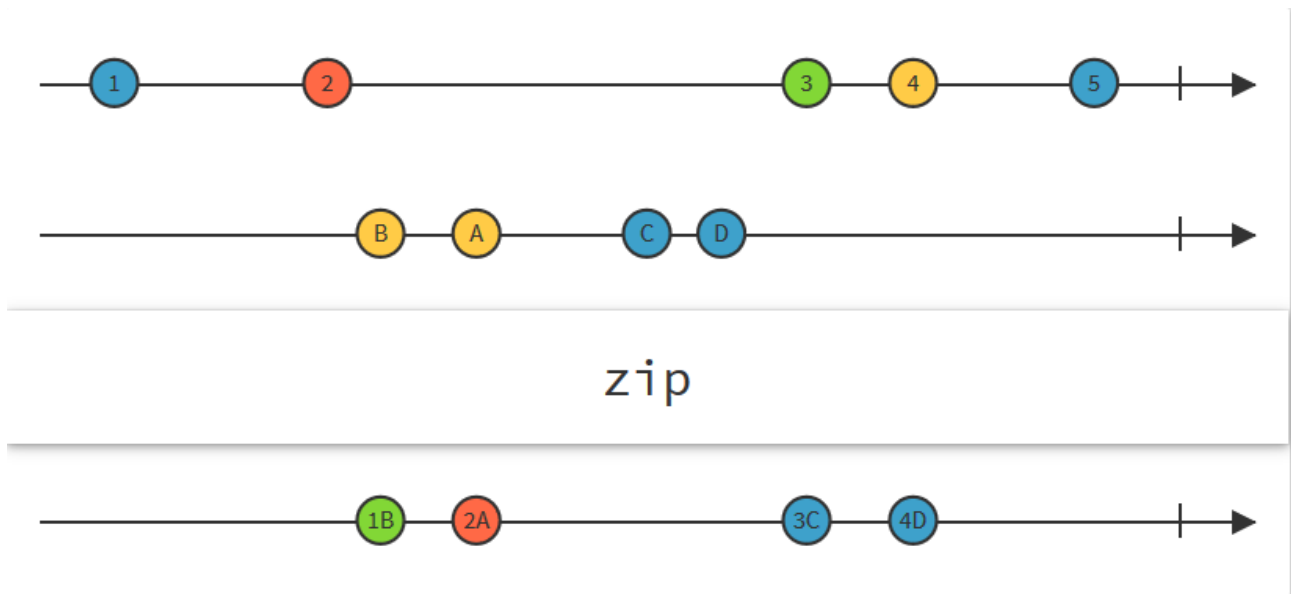


Abbildung 6.5: Datenfluss Zip-Operation

sind, handelt es sich in diesem Beispiel um ein unendliches Observable. Wie vorab schon erwähnt ist die Unendlichkeit immer mit Vorsicht zu genießen hinsichtlich der Verwertbarkeit des Observerables und der Performanz einer Anwendung.

6.10.4 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 6.5 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.

```
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 6.13: Beispiel Zip Operation

Um es sich wieder von Entwicklungsseite zu veranschaulichen ist in Listing 6.13 ein einfaches Beispiel dargestellt. Wie in der Abbildung werden einmal Zahlen einmal Buchstaben als Observables repräsentiert und mit dem Zip-Operator verknüpft. Zip muss immer wissen, welche Objekte zusammengeführt werden sollen, ebenso muss eine Funktion beschrieben werden, die definiert wie die Elemente miteinander verknüpft werden sollen. Hier ist wieder die Verwendung von Lambdas möglich, wie es auch im Listing 6.13 stattfindet, oder es muss eine explizite Funk-

tion definiert werden, als Objekt oder anonym. Auch hier ist wieder das Verhalten zu beachten, dass die Operation erst endet, wenn alle verknüpften Streams abgeschlossen sind.

Kapitel 7

Beispiel: Implementierung eines Systemmonitors

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

7.1 Klassenbeschreibungen SServerSSeite

7.1.1 API für Systemwerte

Framework für die Systemwerte kurz erläutern.

7.2 Klassenbeschreibungen "ClientSSeite

7.2.1 RxJavaFx

Kurzbeschreibung mit Verweis auf gitbook

7.3 Hier eventuell Testing noch beschreiben

Kapitel 8

Evaluierung

Hier Eval schreiben

8.1 Ausblick

Hier Ausblick auf interessante Entwicklungen geben

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>
- [Bon] BONÉR, Jonas Klang V.: Reactive Programming versus Reactive Systems. <https://info.lightbend.com/reactive-programming-versus-reactive-systems.html>
- [Bon14] BONÉR, Jonas Farley Dave Kuhn Roland Thompson M.: the-reactive-manifesto-2.0. (2014). <http://www.reactivemanifesto.org/>
- [floa] *Java 9 Doc - Class Flow*. <http://download.java.net/java/jdk9/docs/api/index.html?java/util/concurrent/Flow.html>
- [flob] *Reactive Programming with JDK 9 Flow API*. <https://community.oracle.com/docs/DOC-1006738>
- [fpw] *Funktionale Programmierung*. https://de.wikipedia.org/wiki/Funktionale_Programmierung
- [GHJV11] GAMMA, Erich ; HELM RICHARD ; JOHNSON, Ralph ; VLISSIDES, John: *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. 39. printing. Boston : Addison-Wesley, 2011 (Addison-Wesley professional computing series). – ISBN 0201633612
- [HP85] HAREL, D. ; PNUELI, A.: On the Development of Reactive Systems. Version: 1985. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-82453-1_{_}17. In: APT, Krzysztof R. (Hrsg.): *Logics and Models of Concurrent Systems*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 1985. – DOI 10.1007/978-3-642-82453-1_17. – ISBN 978-3-642-82453-1, 477–498
- [hsk] *Functional Reactive Programming*. <https://wiki.haskell.org/FRP>

- [Ind15] INDEN, Michael: *Java 8 - die Neuerungen: Lambdas, Streams, Date And Time API und JavaFX 8 im Überblick*. 2., aktualisierte und erw. Aufl. Heidelberg : dpunkt-Verl., 2015. – ISBN 9783864902901
- [Kar16] KARNOK, Dávid: *Operator-fusion (Part 1)*. <https://akarnokd.blogspot.de/2016/03/operator-fusion-part-1.html>. Version: 2016 (Advanced Reactive Java)
- [lam] *Lambda-Kalkül*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Lambda-Kalk%C3%BC1>
- [mai] *ReactiveX - An API for asynchronous programming with observable streams*. <http://reactivex.io/intro>
- [Mar05] MARTIN FOWLER: *InversionOfControl*. <https://martinfowler.com/bliki/InversionOfControl.html>. Version: 2005
- [NC17] NURKIEWICZ, Tomasz ; CHRISTENSEN, Ben: *Reactive programming with RxJava: Creating asynchronous, event-based applications*. Sebastopol, CA : O'Reilly, 2017. – ISBN 9781491931653
- [rsl] *Reactive Streams 1.0.0 is here!* <http://www.reactive-streams.org/announce-1.0.0>
- [rsm] *Reactive Streams*. <http://www.reactive-streams.org/>
- [rxa] *RxJava2: Api Doc*. <http://reactivex.io/RxJava/2.x/javadoc/>
- [rxd] *ReactiveX - What's different in 2.0*. <https://github.com/ReactiveX/RxJava/wiki/What%20is%20different-in-2.0>
- [rxg] *RxJava: Reactive Extensions for the JVM - offizielles GitHub Repository*. <https://github.com/ReactiveX/RxJava>

Abbildungsverzeichnis

2.1	Anwendung mit Button.	4
2.2	Die Konsolenausgabe für die Button Events.	4
4.1	Schematischer Aufbau eines Observer Patterns.	9
5.1	Die vier relevanten Bestandteile für ein reaktives System.Quelle [Bon14]	12
6.1	Datenfluss Filter-Operation	25
6.2	Datenfluss Filter-Operation	26
6.3	Datenfluss Map-Operation	27
6.4	Datenfluss Merge-Operation	28
6.5	Datenfluss Zip-Operation	29

Tabellenverzeichnis

6.1	Vergleich zwischen Funktionalität der Iterable- und Observable-Schnittstelle.	
	Quelle [mai]	17

Listingverzeichnis

2.1	Implementierung des eigentlichen Event Handlers	2
2.2	Klasse zum Anwendungsstart in welcher auch der EventHandler gesetzt wird. . .	3
3.1	Beispiel Erstellung, Verarbeitung und Ergebnisermittlung von Streams.	5
5.1	Lambda Beispiel in Java	14
6.1	Beispiel Observable Initialisierung und Subscription	17
6.2	Beispiel Cold Observable	18
6.3	Beispiel Hot Observable	18
6.4	Beispiel Flowable mit BackPressureBuffer	20
6.5	DefaultSubscriber mit Back Pressure	21
6.6	Beispiel eines Singles	21
6.7	Beispielverwendung eines Subjects	22
6.8	Beispielverwendung eines Processors	23
6.9	Beispiele für Scheduling	24
6.10	Beispiel Filter Operation	26
6.11	Beispiel Map Operation	27
6.12	Beispiel Merge Operation	28
6.13	Beispiel Zip Operation	28