



**Department für Informatik**

Abteilung für Medieninformatik und Multimedia-Systeme

**Bachelorarbeit**

Annotationsbasierte Einstiegserleichterung in  
die Entwicklung von JavaFX-Anwendungen

Deniz Groenhoff

24. Juni 2021

1. Gutachterin: Prof. Dr. Susanne Boll
2. Gutachter: Dr.-Ing. Dietrich Boles



## **Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die allgemeinen Prinzipien wissenschaftlicher Arbeit und Veröffentlichungen, wie sie in den Leitlinien guter wissenschaftlicher Praxis der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg festgelegt sind, befolgt habe.

Deniz Groenhoff

Matrikelnummer 5477417

Oldenburg, den 24. Juni 2021



## Abstract

Hier kommt in der Regel eine ca. halbseitige Zusammenfassung von Motivation und Ergebnis der Arbeit hin. Eine zeitliche Abfolge, wann was gemacht wurde, spielt hier keine Rolle

[Remove empty page](#)



## **Zusammenfassung**

Hier kommt in der Regel eine ca. halbseitige Zusammenfassung von Motivation und Ergebnis der Arbeit hin. Eine zeitliche Abfolge, wann was gemacht wurde, spielt hier keine Rolle <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Fussnote 1





# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1. Motivation . . . . .	3
1.2. Zielsetzung . . . . .	3
1.3. Struktur . . . . .	3
<b>2. Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1. Entwurfsmuster . . . . .	5
2.1.1. Beobachter . . . . .	5
2.1.2. MVC . . . . .	7
2.2. JavaFX . . . . .	8
2.2.1. Aufbau und Szenengraph . . . . .	8
2.2.2. Properties und Bindings . . . . .	9
2.2.3. Layouting: FXML vs. Quelltext . . . . .	10
2.3. Java-Annotationen . . . . .	11
2.3.1. Definition . . . . .	12
2.3.2. Syntax . . . . .	13
2.3.3. Auswertung von Annotationen zur Laufzeit . . . . .	15
2.3.4. Auswertung von Annotationen zur Kompilierzeit . . . . .	15
<b>3. Stand der Technik</b>	<b>17</b>
3.1. Annotationen im Umfeld von JavaSE/JavaEE/JavaFX . . . . .	17
3.1.1. JavaSE Umgebung und externe Bibliotheken . . . . .	17
3.1.2. JavaEE/JakartaEE Umgebung . . . . .	19
3.1.3. JavaFX Umgebung . . . . .	20
3.2. Annotationen in anderen Programmiersprachen . . . . .	20
3.2.1. Verwendung in Python . . . . .	20
3.2.2. Verwendung in C# und .NET . . . . .	20
3.3. Fazit . . . . .	21
<b>4. Konzeption und Entwurf</b>	<b>23</b>
4.1. Identifikation von Problemen und komplexen Strukturen in der JavaFX Entwicklung . . . . .	23
4.1.1. Internationalisierung und Lokalisierung . . . . .	24
4.1.2. Abhängigkeitsinjektion für Controller . . . . .	25
4.1.3. CSS Metadatengeneration . . . . .	26
4.1.4. JavaFX Einstiegspunkt und Preloader . . . . .	26
4.1.5. Controller Lebenszyklus . . . . .	26

4.1.6. Konfigurationsdateien . . . . .	27
4.1.7. Zustandsserialisierung von grafischen Oberflächen . . . . .	27
4.2. Anforderungsanalyse . . . . .	28
4.2.1. Funktionale Anforderungen . . . . .	28
4.2.2. Nichtfunktionale Anforderungen . . . . .	33
4.3. Konzept und Modellierung . . . . .	35
4.3.1. Ziele des Systems . . . . .	35
4.3.2. Rahmenbedingungen und Designentscheidungen . . . . .	35
4.3.3. Benötigte Schnittstellen . . . . .	37
<b>5. Implementierung</b>	<b>41</b>
5.1. Architektur . . . . .	41
5.1.1. ... . . . .	41
5.2. ... . . . .	41
<b>6. Evaluation</b>	<b>43</b>
6.1. Entwicklung von Beispielsoftware . . . . .	43
6.2. Vergleich konventioneller Methoden mit entwickeltem System . . . . .	43
<b>7. Fazit</b>	<b>45</b>
7.1. Zusammenfassung . . . . .	45
7.2. Bewertung . . . . .	45
7.3. Ausblick und mögliche Erweiterungen . . . . .	45
<b>A. Controllerbasierte JavaFX-Anwendung</b>	<b>47</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>51</b>
<b>Quellcodeverzeichnis</b>	<b>53</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>55</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>57</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>59</b>

Fix layouting: remove all  
newpage occurrences,  
fix space above and be-  
low figures, fix invalid  
spacing due to the ove-  
ruse of the [H] figure  
float



# 1. Einleitung

?<einleitung>?

Intro

## 1.1. Motivation

?<motivation>?

Motivation

## 1.2. Zielsetzung

?<zielsetzung>?

Zielsetzung

## 1.3. Struktur

?<struktur>?

Struktur der Arbeit

Bugfixing in tex code



## 2. Grundlagen

`?(grundlagen)?` In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen von essentiellen Komponenten dieser Arbeit erläutert. Dazu wird die Relevanz von Entwurfsmustern erklärt und auf zwei bedeutende Muster näher eingegangen. Diese sind sowohl erforderlich für die folgenden Kapitel als auch für das Verständnis der softwaretechnischen Prinzipien von JavaFX.

Danach wird die JavaFX-Bibliothek vorgestellt und fundamentale Konzepte wie beispielsweise die auf der Extensible Markup Language (XML) basierende Layouting-Sprache erläutert.

`?(acro:xml)?` Abschließend wird das generelle Annotationenkonzept in der Informatik mit speziellen Fokus auf die Programmiersprache Java erklärt. Dabei werden die verschiedenen Annotationstypen näher beschrieben und die Möglichkeiten der eigentlichen Auswertung dieser skizziert. Komplexe Konzepte werden dabei durch visuelle Beispiele wie Quelltextausschnitte<sup>1</sup> oder Unified Modeling Language (UML)-

`?(acro:uml)?` Klassendiagramme untermauert und möglicherweise vereinfacht.

### 2.1. Entwurfsmuster

`?(entwurfsmuster)?` Entwurfsmuster sind Lösungen für immer wieder auftretende Probleme bei der Softwareentwicklung. Sie stellen eine wiederverwendbare Problemlösung für architektonisch begründete Problematiken dar, welche im Endeffekt durch nur wenige Klassen und Schnittstellen effektiv und schnell gelöst werden können. Ein Entwurfsmuster setzt sich aus vier Komponenten zusammen: Dem Namen des Musters, dem zu lösenden Problem, der daraus resultierende Lösung und die auftretenden positiven sowie negativen Auswirkungen bei Nutzung des Musters [GHJV94].

Im Folgenden werden das Model-View-Controller (MVC)- sowie das Beobachter-  
`?(acro:mvc)?` Entwurfsmuster für das Verständnis von JavaFX Prinzipien beschrieben.

#### 2.1.1. Beobachter

Das Beobachter Entwurfsmuster ist ein essentieller Bestandteil von vielen auf der reaktiven Programmierung aufbauenden Bibliotheken und APIs [SMT15] und obwohl es häufig in der Kritik steht, wird es dennoch in vielen Bereitstellungsumgebungen genutzt [MRO10].

---

<sup>1</sup>Die dargestellten Quelltextausschnitte sind aufgrund der Simplizität nicht immer kompilierbar, da irrelevante Programmkonstrukte wie Importe von Klassen nicht für ein Verständnis des dargestellten Kontextes benötigt werden.

Correction

urls in footnotes

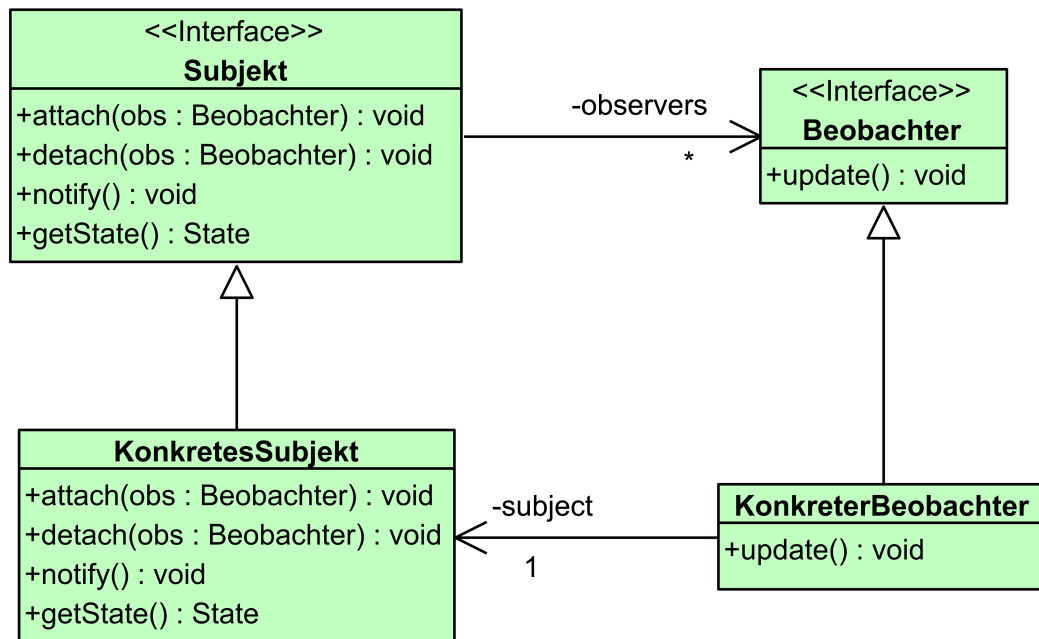


Abbildung 2.1.: UML-Diagramm – Beobachter-Entwurfsmuster

ig:observer\_pattern)?

Das Entwurfsmuster benötigt für die korrekte Implementierung mindestens vier Komponenten (siehe Abbildung 2.1) [GHJV94]:

Das **Subjekt**, ist das zu beobachtende Objekt, welches zu jedem Zeitpunkt alle seine Beobachter in einer internen Datenstruktur speichert. Es besitzt Methoden zum An- und Abmelden von Beobachtern und ist in der Lage alle Beobachter bei eventuellen Zustandsänderungen zu benachrichtigen.

Der **Beobachter** bietet eine Schnittstelle für Objekte, welche bei einer Zustandsänderung des Subjekts informiert werden sollen.

Die **KonkretesSubjekt** Komponente ist die konkrete Implementierung der Subjekt Schnittstelle und ist fähig, einen internen Zustand zu verwalten, sowie bei einer Änderung von diesem, alle registrierten Beobachter zu informieren.

Ein **KonkreterBeobachter** besitzt eine Referenz auf das zu beobachtende Subjekt und seinen internen Zustand. Bei einer Aktualisierung des Subjektzustands, wird auch der interne Zustand des konkreten Beobachters aktualisiert.

### 2.1.2. MVC

Das MVC Entwurfsmuster<sup>2</sup> ist ein de facto Standard der objektorientierten Programmierung [Dea95], welches für eine Trennung von grafischer Oberfläche, Eingaben des Benutzers und dem eigentlichen Anwendungsmodell sorgt [Bur92]. Hält eine Anwendung diese strikte Trennung ein, so genügt sie dem softwaretechnischen Separation of Concerns (SoC) Prinzip [Gra14], woraus wiederum der Wartungsprozess vereinfacht und die Testbarkeit erhöht wird.

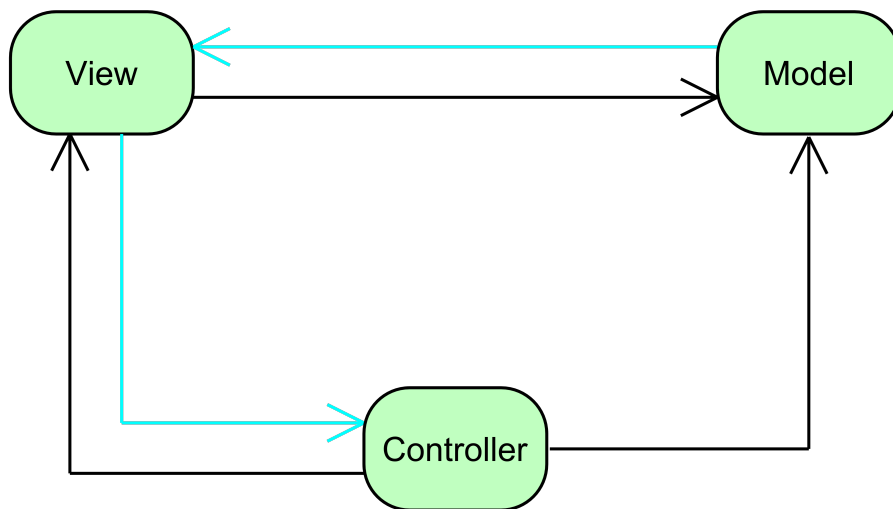


Abbildung 2.2.: Diagramm – MVC-Entwurfsmuster: Die blauen Pfeile stellen indirekte Beziehungen dar, welche meist durch die Nutzung eines Eventsystems auf Basis des Beobachter Musters implementiert werden.

fig:mvc\_pattern)?

Die vom MVC Muster klassische Struktur<sup>3</sup> ist, wie in Abbildung 2.2 zu sehen, in drei Komponenten unterteilt [Dea95]:

Das **Model** beinhaltet alle Klassen welche für die Logik und die Datenhaltung der Anwendung verantwortlich sind und ist vollständig unabhängig vom View.

Der **View** stellt die Anwendung dar, ermöglicht eine Interaktion mit diesem und ist in den meisten Applikationen äquivalent zu einer grafischen Benutzeroberfläche.

Der **Controller** ist für das Verändern des Views verantwortlich. So werden beispielsweise Interaktionen mit der Benutzeroberfläche wie ein Schaltflächenklick im Controller verarbeitet, was wiederum den View aktualisiert. Der

<sup>2</sup>Je nach Interpretation, kann es sich bei dem MVC Muster auch um ein Architekturmuster handeln, bei welchem Model, View und Controller als Schichten einer Architektur gesehen werden und nicht direkt als beispielsweise Klassen implementiert werden.

<sup>3</sup>In der Literatur sind viele Interpretationen des MVC Musters beschrieben. Eine strikte Unterteilung der drei Komponenten ist jedoch immer vorhanden.



View und das Model sind vollständig entkoppelt und der Controller ist die Schnittstelle zwischen diesen.

## 2.2. JavaFX

?{javafx)?

JavaFX ist eine auf Java basierte, quelloffene Bibliothek für das Entwickeln von grafischen Benutzerschnittstellen für Client Applikationen. Im Vergleich zum Vorgänger GUI-Toolkit Java-Swing, bietet JavaFX ein modernes, zeitgemäßes Design der allgemeinen Benutzeroberfläche sowie den dort enthaltenen Schaltflächen und Komponenten [Sha15]. Kombiniert mit den objektorientierten Konzepten von Java, ist JavaFX in der Lage auch komplexe nebenläufige Anwendungen mit vielen Abhängigkeiten darzustellen und aufgrund der Plattformunabhängigkeit auch ohne viele Restriktionen in allen bekannten Betriebssystemen einsetzbar.

?{acro:loc)?

Dazu ist JavaFX auch weitgehend konform mit bekannten Entwurfsmustern der Softwareentwicklung wie beispielsweise dem MVC<sup>4</sup>- oder dem Beobachter-Muster, weshalb implementierte Anwendung selbst bei vielen Lines of Code (LoC), eine grundsätzlich hohe Strukturiertheit auf Quelltextebene aufweisen. Durch die Verwendung von Properties und Bindings (siehe Unterabschnitt 2.2.2) ist es auch möglich das Model-View-ViewModel (MVVP) Muster zu nutzen. Das grafische Layout

?{acro:mvvp)?

kann dabei nicht ausschließlich durch Java-Quelltext sondern auch mittels der an die XML angelehnte Markup-Sprache FXML erstellt werden. Letzteres kann durch externe Tools wie dem Scene-Builder enorm vereinfacht werden [VCG<sup>+</sup>18].

### 2.2.1. Aufbau und Szenengraph

?{javafx\_szenengraph)?

Damit eine JavaFX-Anwendung als solche identifiziert werden kann, muss die Hauptklasse von der `Application`-Klasse erben. Die Namensgebung der Klassen, welche für die Struktur bzw. den Aufbau einer JavaFX-Anwendung zuständig sind, basiert auf Begriffen der Theaterumgebung [AA19]:

Die **Stage** Klasse repräsentiert ein Anwendungsfenster, welches das Design des Fensterlayouts des aktuell genutzten Betriebssystems nutzt. Eine Stage ist teilweise modifizierbar, so können beispielsweise die Standardschaltflächen in der Titelleiste entfernt oder deaktiviert werden. Werden mehrere Fenster benötigt, so können nach dem Initialisieren der Haupt-Stage durch die JavaFX-Plattform, manuell weitere hinzugefügt werden.

Die **Scene** Klasse ist für das Layout und die Darstellung von vorhandenen oder selbsterstellten JavaFX-Komponenten verantwortlich. Jede Komponente, welche durch eine Scene-Instanz angezeigt und verwaltet werden soll, wird in einer hierarchisch angeordneten, objektorientierten Datenstruktur eingefügt,

<sup>4</sup>Die Beschreibung des MVC Musters aus Abbildung 2.2 ist nicht vollständig auf die JavaFX Situation anzuwenden, da der View meistens in eine FXML-Datei ausgelagert wird und deshalb nicht unbedingt mit dem Model interagiert.

welche in der Computergrafik als Szenengraph bekannt ist [HvDM<sup>+</sup>13]. Jeder Stage muss zwangsläufig eine Scene zugewiesen werden.

Die **Node** Klasse ist eine darstellbare Komponente im Szenengraphen wie beispielsweise eine Schaltfläche oder ein Containerelement. Node Instanzen im Szenengraph können Kindelemente enthalten und maximal einem Elternelement zugeordnet sein. Der Szenengraph ähnelt somit einer Baumstruktur mit einer Wurzel und einem oder mehreren Blättern. Damit eine Node-Instanz Kindelemente besitzen darf, muss diese immer von der abstrakten Parent-Klasse erben. Das Layouting und die Positionierung im lokalen Koordinatensystem wird bei vorhandenen Kindelementen immer durch das Elternelement kontrolliert. Jede darzustellende Komponente muss von der Node-Klasse erben [Jun13].

Ein minimales Beispiel für eine voll funktionsfähige JavaFX-Anwendung, welche das Zusammenspiel der oben genannten Konzepte und Klassen widerspiegelt, ist in Code 2.1 dargestellt.

ample\_javafxapp)?

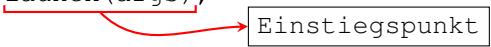
---

```
public class TestApplication extends Application {

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

    @Override
    public void start(Stage primaryStage) {
        ① final Pane root = new Pane();
        root.getChildren().add(new Button("TestButton"));
        final Scene scene = new Scene(root, 250, 250);
        ② primaryStage.setScene(scene);
        primaryStage.show();
    }
}
```

---



Code 2.1: Beispiel – Minimale JavaFX-Anwendung.

Nach der Initialisierung der JavaFX Anwendung wird in ① das Wurzelement des Szenengraphen erstellt und um eine Button Instanz erweitert. Dieses wird dann in ② zu einem Scene Objekt hinzugefügt, welche wiederum als Szene der primaryStage dient. Das Beispiel wird mit dem Anzeigen der Stage beendet.

### 2.2.2. Properties und Bindings

es\_und\_bindings)?

JavaFX besitzt eine auf dem JavaBeans-System und dem Observer-Entwurfsmuster basierende API, welche es dem Programmierer ermöglicht, eine synchronisierende Beziehung zwischen zwei oder mehr Variablen zu erstellen. Wird eine Variable

---

```
st:property_example)? Button btn = new Button("Test");
// ChangeListener für den Schaltflächentext
btn.textProperty().addListener((obs, oVal, nVal) -> {
    System.out.println(nVal);
});
// EventHandler für die Schaltflächenaktivierung
btn.setOnAction(e -> {
    System.out.println("Clicked!");
})
```

---

Code 2.2: Beispiel – ChangeListener &amp; EventHandler.

in einer solchen Beziehung geändert, so wird automatisch auch die andere geändert [Hom13]. Dabei ist es auch möglich, Event Listener für eigene oder durch von JavaFX-Nodes automatisch erzeugte Properties zu registrieren. Soll beispielsweise Quelltext ausgeführt werden, wenn eine Änderung eines Wertes einer Property festgestellt wird, so kann dies mit dem Erstellen einer `ChangeListener`-Instanz durchgeführt werden [Gao19]. Im ersten Teil von Code 2.2 soll der Text einer Schaltfläche bei einer Änderung auf die Konsole ausgegeben werden. Dazu wird mittels Lambda Ausdruck ein neuer `ChangeListener` mit der `StringProperty` der Schaltfläche verknüpft.

Des Weiteren unterstützt JavaFX ein Event-System, welches anhand von verschiedenen Aktionen Events durch den Szenengraphen propagiert. Ein solches Event wird beispielsweise durch das Eintragen von Text in ein Textfeld oder das Aktivieren einer Dropdown-Liste ausgelöst. Im zweiten Teil von Code 2.2 wird ein `EventHandler` für das Aktivieren einer Schaltfläche erstellt.

### 2.2.3. Layouting: FXML vs. Quelltext

Wie in der Einleitung schon angedeutet, ist es möglich das Layout der Anwendung auch per FXML zu erstellen. Eine Prävention von Boilerplate-Code kann durch das Auslagern von häufig verwendeten JavaFX-Komponenten in externe FXML-Dateien erfolgen [KDSAMR18]. Das Verwenden von solchen Dateien sorgt für eine bessere Trennung von Controllern und Logik im Sinne des z.B. MVC-Entwurfsmusters [Jun13] und durch die hohe Konfigurierbarkeit sind für eine eventuelle Veröffentlichung der Applikation wichtige Konzepte wie die Internationalisierung, leichter umzusetzen [Ste14]. Durch das Parsen und Aufbauen des Szenengraphen zur Laufzeit des Programms ist eine Verwendung von FXML-Dateien jedoch langsamer als benötigte Komponenten direkt im Java Quelltext zu deklarieren. Fast alle JavaFX-Nodes können ohne Weiteres in XML-Elementen verwendet und angepasst werden. Außerdem ist es möglich, direkt eine manuell erstellte Controller-Klasse mit einer FXML-Datei zu assoziieren. Das Laden einer FXML-Datei und das darauffolgende Aufbauen des Szenengraphen wird durch die `FXMLLoader`-Klasse durchgeführt. Das Layouting-Beispiel aus Code 2.1 ist als eine funktionsgleiche

FXML Variante in Code 2.3 zu erkennen. Das Laden der Datei wird durch das Instanzieren eines neuen FXMLLoader Objekts, wie in Code 2.4 dargestellt, ermöglicht. Um eine Controller-Klasse mit der FXML-Datei zu assoziieren, kann das Wurzelement dieser durch das `fx:controller` Attribut erweitert werden. Der Name des Controllers ist hierbei der voll qualifizierte Klassenname. Neben externen FXML-Dateien können auch externe Cascading Style Sheets (CSS)-Dateien für das Design des Layouts verwendet werden. In Anhang A ist ein vollständig kompilierbares JavaFX-Programm welches aus einem Controller, einer FXML-Datei sowie einer CSS-Datei aufgebaut ist zu finden.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<?import javafx.scene.layout.Pane?>
<?import javafx.scene.control.Button?>

<Pane xmlns="http://javafx.com/javafx">
<Button>TestButton</Button>
</Pane>
```

Code 2.3: Beispiel – FXML Layouting.

```
Pane load(String fxmlPath) throws IOException {
    return new FXMLLoader(getClass().getResource(fxmlPath)).load();
}
```

Code 2.4: Beispiel – FXML Ladeprozess.

## 2.3. Java-Annotationen

Annotationen sind in der Sprachwissenschaft eine Möglichkeit einen vorhandenen Text mit Anmerkungen zu versehen für beispielsweise Disambiguierung, also das Eliminieren von Mehrdeutigkeiten eines Wortes oder für das Erklären von komplexen Textabschnitten. Sie geben dem Leser Zusatzinformationen um Sachverhalte einfacher darzustellen und sorgen dadurch für ein schnelleres bzw. besseres Verständnis des Textes. Dabei sind solche Anmerkungen kein Hauptbestandteil von Texten sondern dienen ausschließlich als Ergänzung.

In der Informatik sind Annotationen ebenfalls nur ein deskriptives Strukturkonzept, welche es dem Entwickler ermöglicht, verschiedenen strukturellen Elementen der Programmierung (wie Felder oder Klassen), Metadaten zuzuweisen [YBSM19]. Das Nutzen von Annotationen in Anwendungen ist aufgrund ihrer meist simpel gehaltenen Syntax auch für Programmierneinsteiger vorteilhaft und durch ihre Anpassungsfähigkeit und Flexibilität sind sie in vielen Bibliotheken und Programmiersprachen vertreten.

### 2.3.1. Definition

Move commented footnote to first occurrence (in intro)

Annotationen wurden mit Java 5 (2014) in die Sprache eingeführt und werden seitdem immer häufiger für verschiedene Aspekte der Programmierung genutzt [RV11]. Mit ihnen kann eine Steuerung des Compilers erfolgen, eine Verarbeitung der Metadaten zu Kompilierzeit durchgeführt werden oder das Verhalten von Anwendungen zur Laufzeit modifiziert oder gelenkt werden [YBSM19]. Aufgrund der Tatsache, dass es sich nur um rein deskriptive Metadaten handelt, ist es Annotationen nicht direkt möglich mit existierendem Quelltext zu interagieren. Möglichkeiten zur Verarbeitung dieser Metadaten werden in Sektion 2.3.3 vorgestellt. Neben den von Java vordefinierten Annotationen wie z.B. `@Override` für das Überschreiben von vererbten Methoden oder `@SuppressWarnings` für das Unterdrücken von Compilerwarnungen, können auch eigene Annotationen deklariert werden.

Es handelt sich bei Annotationen in Java um spezialisierte Schnittstellen bei welchen das `interface`-Schlüsselwort durch ein `@`-Zeichen Präfix zu `@interface` erweitert wird [GJSB05]. Außerdem ist es Annotationen nicht erlaubt wie bei normalen Schnittstellendefinitionen das Schlüsselwort `extends` für eine Vererbung zu verwenden, da die Superschnittstelle implizit vom Compiler auf die Annotation Klasse des `java.lang.annotation` Pakets gesetzt wird [Ora17]. Ein Beispiel einer Annotationsdefinition ist in Code 2.5 dargestellt.

```
notation_definition)? public @interface TestAnnotation {
    // ...
}
```

Code 2.5: Beispiel einer Annotationsdefinition.

In der Analogie des Kapitels 2.3 können Elemente mit strukturgebenden Charakter wie Bestandteile eines Satzes annotiert werden. Analog dazu sind in der Java-Programmierung Klassen, Methoden, Felder etc. für die Strukturierung des Quelltextes und der Softwarearchitektur verantwortlich und somit auch mit Annotationen erweiterbar. Um Sprachelemente zu annotieren muss wie in Code 2.6 dargestellt, ein `@`-Präfix zum eigentlichen Klassennamen hinzugefügt werden.

```
t:annotated_example)? @TestAnnotation
public class TestClass {
    // ...
}
```

Code 2.6: Beispiel einer annotierten Klasse.

Aufgrund der besonders einfachen Syntax und dem vergleichsweise geringen Aufwand, ist ein steigender Trend der Nutzung von Java-Annotationen in Open-Source Anwendungen zu erkennen. Werden Annotationen jedoch übermäßig verwendet, so

kann es schnell zu Quelltext-Verschmutzung kommen, was im Kontext der Annotationsprogrammierung auch „annotation hell“ (dt. Annotationshöhle) genannt wird. Annotationen erreichen dann das Gegenteil des gewünschten Zwecks – Statt den Entwicklungsprozess vereinfachend zu unterstützen, wird der Quelltext schwer nachvollziehbar und wirkt unstrukturiert und unübersichtlich.

Dennoch zeigt eine Studie aus dem Jahre 2019, welche 1094 quelloffene GitHub-Projekte auf die Verwendung von Annotationen untersucht hat, dass javabasierte Anwendungen und Bibliotheken, bei aktiver Nutzung von Annotationen, eine geringere Fehleranfälligkeit aufweisen [YBSM19].

### 2.3.2. Syntax

tationen\_syntax)?

Annotationen können Attribute besitzen, welche bei Kompilierzeit bzw. Laufzeit ausgelesen werden können. Die Typen dieser Attribute sind nicht vollständig frei wählbar. So ist es beispielsweise nicht möglich ein Attribut vom Typ `Object` in einer Annotation zu kapseln, ohne einen Kompilierfehler auszulösen. Erlaubt sind alle primitiven bzw. atomaren Datentypen und Instanzen der `String`-, `Class`- und `Enum`-Klasse sowie eindimensionale Arrays aus den vorherigen Typen. Außerdem ist es möglich, Attributen einen voreingestellten Wert mittels des Schlüsselwortes `default` zuzuweisen [GJSB05]. Annotationen müssen in einer der folgenden Syntaxen benutzt werden:

lst design

use lstnewenvironment

**Normal Annotations** sind ganz normal deklarierte Annotationen, bei welchen die Attribute mittels Aufzählung in Klammern übergeben werden.

(lst:decl\_normal)?

```
public @interface Entity {
    String name();
    int id();
}
```

Code 2.7: Deklaration – Normal Annotation.

```
@Entity(name="test", id=2)
public class TestEntity {
    // ...
}
```

Code 2.8: Anwendung – Normal Annotation

**Single-Element Annotations** sind eine Kurzform der normalen Annotationen mit einem `value`-Attribut und keinen weiteren nicht-default Attributen.

(lst:decl\_single)?

```
public @interface Entity {
    String value();
    int id() default -1;
}
```

Code 2.9: Deklaration – Single-Element Annotation.

```
@Entity("test")
public class TestEntity {
    // ...
}
```

Code 2.10: Anwendung – Single-Element Annotation

**Marker Annotations** sind ebenfalls eine Kurzform der normalen Annotationen mit keinen oder nur default Attributen.

---

```

?(<lst:decl_marker>)?public @interface Entity {
    String name() default "";
    int id() default -1;
}

```

---

Code 2.11: Deklaration – Marker Annotation.

---

```

@Entity
public class TestEntity {
    // ...
}

```

---

Code 2.12: Anwendung – Marker Annotation

Die Sichtbarkeit von eigenen Annotationen zu verschiedenen Phasen des Codezyklus kann durch die von Java bereitgestellte Annotation `@Retention` gesteuert werden. Das übergebene Enum-Attribut klassifiziert die Annotation dann in einen von drei Typen [RV11]:

**Quellcode-Annotationen** sind nur beim Kompilervorgang auslesbar und können dem Compiler Anweisungen geben oder mithilfe von Annotation-Prozessoren z.B. neue Klassen automatisch generieren. Sie sind in der kompilierten Java-Anwendung nicht mehr erhalten.

**Klassen-Annotationen** sind nach dem Kompilierungsprozess noch in der Anwendung erhalten und können durch externe Tools wie z.B. dem Code-Obfuskator ProGuard ausgelesen werden.

**Laufzeit-Annotationen** sind nach der Kompilierung und beim Start der Anwendung erhalten und können dann mithilfe der Reflection-API zur Laufzeit ausgewertet werden.

Des Weiteren kann gesteuert werden, welche Typen der Strukturelemente eines Quellcodes annotiert werden können. Ein Beispiel für eine zur Laufzeit beibehaltene Annotation, welche nur an Methoden angebracht werden kann ist in Code 2.13 zu erkennen.

---

```

annotation_example)?
@Target(ElementType.METHOD)
@Retention(RetentionPolicy.RUNTIME)
public @interface Event {
    int id();
    int priority() default 0;
}

```

---

Code 2.13: Beispiel einer Laufzeit Annotation.

### 2.3.3. Auswertung von Annotationen zur Laufzeit

Laufzeitauswertung) Für eine Auswertung von Laufzeit-Annotationen, muss zwangsläufig die Reflection-API von Java genutzt werden. Wenn eine Programmiersprache eine Form von Reflection (dt. Spiegelung) aufweist, so ist es möglich Attribute, Logikfluss und andere Eigenschaften während der Laufzeit zu ändern. In objektorientierten Sprachen wie Java wird diese „computational reflection“ genutzt, um die Möglichkeit einer Selbstbeobachtung der eigenen Sprachelemente zu schaffen [LTX17]. Die API ermöglicht somit beispielsweise das Auslesen von Laufzeit-Annotationen und deren deklarierte Attribute oder das dynamische Instanzieren von Klassen [FFI<sup>+</sup>04]. Jedes Java-Element der Reflection API (Feld, Methode, Klasse, ...), welches annotierbar ist, wird durch die Vererbung der `AnnotatedElement`-Klasse als solches klassifiziert [Sch19]. Damit nun alle vorhandenen Annotation ausgelesen werden können, kann die Methode `AnnotatedElement#getDeclaredAnnotations` aufgerufen werden [PN15]. Das Lesen der Attribute der in Code 2.13 vordefinierten Annotation ist in Code 2.14 zu erkennen.

---

```
processing_example)?    if (Test.class.isAnnotationPresent(Event.class)) {
                        Event e = Test.class.getDeclaredAnnotation(Event.class);
                        int id = e.id();
                        int priority = e.priority();
                    }
```

---

Code 2.14: Auslesen einer Laufzeit-Annotation.

### 2.3.4. Auswertung von Annotationen zur Kompilierzeit

Das Auswerten von Annotationen zur Kompilierzeit kann mithilfe der Annotation-Processing API seit Java 6 durchgeführt werden. Annotationsprozessoren müssen von der `AbstractProcessor` Klasse erben und durch `META-INF` Metadaten mit der `ServiceLoader` Klasse registriert werden. Annotationsprozessoren müssen im Java Archiv-Format vorliegen und werden automatisch durch `javac` erkannt, wenn diese im Build-Pfad der eigentlichen Applikation präsent sind. Durch die Nutzung der von Google entwickelten `AutoService`<sup>5</sup> Bibliothek müssen benötigte Metadaten nicht manuell im `META-INF` Ordner des Java Archivs hinterlegt werden, sondern werden automatisch erstellt, verwaltet und bei Bedarf aktualisiert. Die Struktur eines Annotationsprozessors mit der `AutoService` Bibliothek ist in Code 2.15 dargestellt und verarbeitet alle gefundenen Annotationen aufgrund des Wildcard-Zeichens in der `@SupportedAnnotationTypes` Annotation. Das Erstellen von Klassen mithilfe der von Java zur Verfügung gestellten APIs ist ein aufwendiger Prozess, da Quelltext manuell durch zum Beispiel `PrintWriter` Instanzen generiert werden müssen. Außerdem ist es nicht möglich bereits vorhandene Klassen zu modifizieren. Ein Hinzufügen von Methoden und Feldern ist ausgeschlossen und der

<sup>5</sup>Google `AutoService`: <https://github.com/google/auto/tree/master/service>



generelle Overhead beim Verwaltungs- und Erstellungsprozess ist nicht nur für den Entwickler zeitaufwändig, da der Anwender ebenfalls die verwendeten Annotationsprozessoren registrieren müssen. Letzteres kann durch das Verwenden von Build-Management-Tools wie Apache Maven<sup>6</sup> verhindert werden und die Quelltextgeneration kann durch externe Bibliotheken wie JavaPoet<sup>7</sup> deutlich erleichtert werden. Damit bereits vorhandene Klassen modifiziert oder erweitert werden können, muss eine Form der Bytecode Manipulation genutzt werden. Dazu kann beispielsweise die ASM<sup>8</sup> Bibliothek genutzt werden, welche es dem Entwickler ermöglicht existierende Klassen, Methoden oder Felder vollständig zu verändern [Kul07].

---

```
n_processor_example)? @SupportedAnnotationTypes ("*")
@AutoService (Processor.class)
public class TestProcessor extends AbstractProcessor {

    @Override
    public boolean process (Set<? extends TypeElement> elems,
        RoundEnvironment env) {
        // ...
        return true;
    }
}
```

---

Code 2.15: Beispiel – Annotationsprozessor.

---

<sup>6</sup>Apache Maven: <https://maven.apache.org>

<ft:maven> <sup>7</sup>JavaPoet: <https://github.com/square/javapoet>

<sup>8</sup>ASM: <https://asm.ow2.io>  
<ft:asm>

## 3. Stand der Technik

and\_der\_technik)?

In diesem Kapitel werden aktuelle Konzepte und Implementierungen der Annotationsprogrammierung zur Vereinfachung des Entwicklungsprozesses einer Anwendung dargelegt. Obwohl der primäre Fokus dabei auf der JavaFX- und der generellen Java-Umgebung gelegt wird, werden dennoch auch Bibliotheken und mögliche Strukturen aus anderen Programmiersprachen herangezogen.

### 3.1. Annotationen im Umfeld von JavaSE/JavaEE/JavaFX

umfeld\_von\_java)?

Nach dem Einführen von Annotationen in Java vor 16 Jahren haben sich viele Bibliotheken etabliert, welche fast vollständig oder teilweise auf dieses Konzept setzen. Eine Studie aus dem Jahre 2011, welche 106 Systeme auf die Nutzung von Annotationen untersuchte, stellte fest, dass 41 dieser keine einzige aufwiesen [RV11]. Acht Jahre später wurde eine ähnliche Studie veröffentlicht, welche 1094 populäre Systeme untersucht hat und feststellte, dass jedes dieser Systeme mindestens eine Annotationen enthält [YBSM19]. Auch wenn bei beiden Studien nicht dieselben Systeme getestet worden sind, ist dennoch ein klarer Trend nach oben zu erkennen. Dazu wurden eine Vielzahl an Werken publiziert, welche mithilfe von Annotationen, vorhandene Java-Konzepte vereinfachen und erweitern sollen.

Beispielsweise wurde ein System entwickelt, welches durch Semantikinformationen von annotierten JavaDoc-Elementen, das Refactoring automatisiert und den Entwickler auf das Nutzen von Entwurfsmustern und etwaige Refactoring-Operationen hinweisen soll [MP06]. Des Weiteren werden Annotationen im Kontext der automatischen Nebenläufigkeit [DPV<sup>+</sup>07], dem Erstellen von Parsern für Programmiersprachen [PFS09] und der Dokumentation sowie der Erzeugung von Quelltext genutzt [SNP16, MJ09]. Im Folgenden werden Beispiele gegeben, welche die Entwicklung durch die Verwendung von Annotationen, aktiv vereinfachen:

#### 3.1.1. JavaSE Umgebung und externe Bibliotheken

eld\_von\_java\_se)?

?(acro:jdk)?

Die am häufigsten genutzte durch das Java Development Kit (JDK) vordefinierte Annotation (siehe Unterabschnitt 2.3.1), ist die Quelltextannotation `@Override` [RV11], welche für eine Bugprävention genutzt werden kann. Will der Entwickler beispielsweise eine Methode einer Superklasse überschreiben und übernimmt nicht die vorgegebene Methodendeklaration, sondern verwendet fälschlicherweise eine Methodenüberladung, so handelt es sich häufig dennoch um vollständig validen Quelltext, welcher aber unter Umständen zu einem ungewollten Verhalten

führt. Auch kann das fehlerhafte Überschreiben von Methoden, aus einer Verwechslung von ähnlichen Methodennamen resultieren. Beispielsweise kann beim Erben von der Container Klasse aus dem Abstract Window Toolkit (AWT) die `paintComponents` mit der `paintComponent` Methode aus der `JComponent` Klasse verwechselt werden. Wird aber die `@Override` Annotation in solchen Fällen über die zu überschreibenden Methoden geschrieben, so wird immer ein Kompilierfehler erzeugt. Ein Beispiel, welches ersteres Szenario verbildlicht ist in Code 3.1 und Code 3.2 dargestellt.

<pre> ?{acro:awt)? ?{lst:decl_interface)? <b>interface</b> Test {     <b>default void</b> t(<b>int</b>... i) {} } </pre>	<pre> ?{lst:compiler_error)? <b>class</b> TestClass <b>implements</b> Test {     <b>@Override</b>     <b>public void</b> t(<b>int</b> i) {} } </pre> <div style="position: relative; height: 40px;"> <div style="position: absolute; top: 0; right: 0; border: 1px solid black; padding: 2px;">Kompilierfehler</div> <div style="position: absolute; top: 10px; left: 10px; color: red;">→</div> </div>
--	---

Code 3.1: Beispiel – Interfacedeklaration.

Code 3.2: Beispiel – Kompilierfehler.

Durch das Nutzen von externen Bibliotheken können weitere Funktionalitäten durch Annotationen hinzugefügt werden. Wie in Unterabschnitt 2.3.2 ausführlich erklärt, können neue Klassen durch Annotationsprozessoren zur Kompilierzeit erstellt und wiederholende Quelltextausschnitte wie Getter und Setter, dadurch automatisch generiert werden. Basierend auf diesen Möglichkeiten, wurde das Projekt Lombok<sup>1</sup> konstituiert, welches das Ziel verfolgt, den Entwicklungsprozess durch das Erstellen von Boilerplate-Code mithilfe einer ausschließlichen Nutzung von Annotationen zu erleichtern. Lombok ist in der Lage die obligatorischen `equals()`- und `hashCode()`-Methoden zu erstellen, was nicht nur in einer hohen Zeiteinsparung resultiert, sondern auch mögliche Bugs bei dem manuellen Implementieren dieser Methoden verhindert. In Code 3.3 ist ein POJO zu erkennen, bei welchem der Konstruktor, alle Getter und die `equals()`-, `hashCode()`- und `toString()`-Methoden automatisch generiert werden. Auch Software-Plattformen für mobile Endgeräte wie Android<sup>2</sup> setzen auf Annotationstechnologien: Damit das Minimierungs-/Optimierungs-Tool von Android keine fälschlicherweise als unbenutzt erkannten Klassen beim Build-Vorgang entfernt, kann die `@Keep`-Annotation verwendet werden. Dazukommend kann die Erweiterung `support-annotations`<sup>3</sup> einem Android-Projekt hinzugefügt werden, um beispielsweise zu überprüfen, ob Methoden in einem bestimmten Thread ausgeführt werden, ob Einschränkungen für Methoden- oder Konstruktorparameter eingehalten werden und ob bestimmte Berechtigungen für das Ausführen von Methoden vorhanden sind.

<sup>1</sup>Project Lombok: <https://projectlombok.org>

<sup>2</sup>Android: <https://www.android.com>

<sup>3</sup>Support-Annotations: <https://developer.android.com/studio/write/annotations>

```

:lombok_example)? @Getter
@Setter
@ToString
@EqualsAndHashCode (onlyExplicitlyIncluded = true)
@RequiredArgsConstructor
public static final class Player {

    @EqualsAndHashCode.Include
    private final UUID id;
    private final String name;
    private final Date regDate;

}

```

Code 3.3: Beispiel – Lombok POJO.

### 3.1.2. JavaEE/JakartaEE Umgebung

Auch bei der Entwicklung von auf Java basierten Enterprise-Anwendungen werden Annotationen verwendet. Die JakartaEE Spezifikation der Version 9<sup>4</sup> bietet verschiedene Bibliotheken, welche mithilfe von Annotationen verschiedene Prozesse erleichtern können. Beispielsweise existiert die Jakarta XML Binding (JAXB) <sup>?(acro:jaxb)?</sup> Programmierschnittstelle, welche das Binden von XML Dokumenten und Java Objekten ermöglicht – Ein Java Objekt kann dann durch ein XML Dokument repräsentiert und zur Laufzeit des Programms daraus erstellt werden (und vice versa). Wird zu der eigentlichen JAXB Bibliothek noch die Erweiterung aus dem jakarta.xml.bind.annotation Paket genutzt, so ist es möglich die vorher genannte Bindung vollständig durch die Nutzung von Annotationen zu realisieren. Ein Beispiel für die Repräsentation eines Java Objektes durch eine XML Datei ist in Code 3.4 und Code 3.5 abgebildet.

<pre> &lt;?xml version="1.0"?&gt; &lt;Cat id="1"&gt;   &lt;color&gt;Brown&lt;/color&gt;   &lt;age&gt;4&lt;/age&gt; &lt;/Cat&gt; </pre>	<pre> @XMLRootElement public class Cat {      @XMLAttribute     public int id;      public String color;     public int age;  } </pre>
--	--

Code 3.4: Repräsentation als XML Datei.

Code 3.5: Repräsentation als Java Objekt.

<sup>4</sup>JakartaEE 9: <https://jakarta.ee/specifications/platform/9/apidocs/>

### 3.1.3. JavaFX Umgebung

In JavaFX direkt werden nur wenige Annotationen verwendet, welche Teil der öffentlichen API sind. Dazu gehört `@FXML`, welche für das automatische Setzen von Feldern oder für die Identifikation von Methoden für EventHandler benötigt wird [AA19]. Der Entwickler kann somit Events, welche durch JavaFX-Komponenten ausgelöst werden, per FXML-Datei mit Methoden im selben Controller verbinden. Dazu wurden Bibliotheken wie `Afterburner.fx`<sup>5</sup> entwickelt, welche durch `@Inject`, das Inversion of Control (IoC) Programmierparadigma durch Abhängigkeitsinjektion realisiert oder das von CERN entwickelte `ExtJFX`<sup>6</sup>, welches `@RunInFxThread` nutzt, um Unittests auf dem JavaFX-Thread auszuführen.

## 3.2. Annotationen in anderen Programmiersprachen

Neben den Java-Annotationen, welche in Abschnitt 2.3 erklärt und in Abschnitt 3.1 vorgestellt wurden, werden Annotationen auch in vielen anderen Programmiersprachen genutzt. In den folgenden Abschnitten wird explizit auf das Annotationskonzept in Python und C# eingegangen.

### 3.2.1. Verwendung in Python

Python ist eine dynamisch typisierte Sprache und validiert somit den Typen einer Variablen zur Laufzeit des Programms [Tra09], kann aber durch das Verwenden von Funktionsannotationen, Meta-Daten zu Parametern, Variablen und Funktionsrückgabewerten hinzufügen, um so den gewünschten Typen anzudeuten [vRLL14, WL06]. Diese Annotationen werden zwar vom Python-Interpreter ignoriert, können aber durch Softwaresysteme von Drittanbietern wie `mypy` zur statischen Typisierung verwendet werden. Nach einer Studie von Khan et al., welche 210 auf Python basierende GitHub-Projekte auf typbezogene Fehler untersuchte, konnten 15% der gefundenen Mängel, durch `mypy` verhindert werden [KCVM21]. Einige Entwicklungsumgebungen wie PyCharm sind außerdem in der Lage, Warnungen bei eventuellen Verletzungen der Typempfehlungen von Annotationen anzuzeigen [Rot17]. Das Verwenden von derartigen Annotationen kann somit durchaus die Fehleranfälligkeit von Programmcodetelementen in Python sinken – wenn auch nur implizit durch externe Bibliotheken oder Entwicklungsumgebungen.

maybe add code example

### 3.2.2. Verwendung in C# und .NET

In C# wird das Hinzufügen von Meta-Informationen zu bestehenden Programmelementen durch Attribute realisiert [AJ19]. Mithilfe dieser Attribute können dann beispielsweise Klassen als serialisierbar deklariert werden oder Methoden und Funktionen für nicht verwaltete Dynamic Link Librarys (DLLs) erreichbar gemacht werden.

<sup>5</sup>Afterburner.fx: <https://github.com/AdamBien/afterburner.fx>

<sup>6</sup>ExtJFX: <https://github.com/extjfx/extjfx>

den. Es ist, ähnlich wie in Java, auch möglich, eigene Attribute zu erstellen und diese zu unterschiedlichen Phasen wie zur Kompilierzeit oder Laufzeit auszuwerten. Durch die einfache Nutzung der Attribute wurde beispielsweise eine Erweiterung der grundlegenden *C#*-Sprache entwickelt, welche ein Parallelisieren von sequentiellen Programmausschnitten ermöglicht [CCC].

### 3.3. Fazit

?<sub>(ms\_fazit)</sub>?

Annotationen haben in den meisten Fällen einen positiven Einfluss auf die Entwicklung von beliebigen Anwendungen. Annotationen sind keine universelle Sprachstruktur wie Schleifen und bedingte Anweisungen, werden aber immer öfter in Programmiersprachen eingesetzt. Sie sorgen, wenn nicht übermäßig verwendet, für übersichtlichere und kompaktere Klassen, was wiederum in einem besseren Verständnis des Quelltextes resultiert. Einige Bibliotheken verfolgen das Ziel dem Entwickler eine große Zeiteinsparung durch einen gewissen Grad an Automation zu ermöglichen. Dabei wird repetitiver oder fehleranfälliger Quelltext vollständig oder teilweise automatisch generiert und auf das Einhalten von bekannten Entwurfsmustern und Sprachkonventionen geachtet. Komplexe Prozesse wie das Parsen von XML Dateien, Abhängigkeitsinjektion oder objektrelationale Abbildungen in relationale Datenbanken können durch Annotationen vereinfacht werden. Dennoch existieren keine annotationsbasierten Bibliotheken für die aktuellste Java-Version (16), welche explizit einen vereinfachenden Einfluss auf den Entwicklungsprozess von auf JavaFX aufbauenden Applikationen nehmen und dabei quelloffen und frei verfügbar sind. JavaFX wird in den meisten Fällen durch Features erweitert, welche vorher in der Form noch nicht in der eigentlichen Bibliothek vorhanden sind. Dazu zählt beispielsweise ExtJFX, welche im Kern eine auf JUnit<sup>7</sup> aufbauende Testumgebung für grafische Benutzeroberflächen ist. Ein System welches auf eine Vereinfachung oder Automatisierung von komplizierten JavaFX Funktionen (Controller-Verwaltung, Properties und Bindings, Animationen, ...) durch Annotationen abzielt ist nicht vorhanden.

Eine Erweiterung des XML-Schemas für die Struktur einer FXML-Datei, um beispielsweise die Beziehung zwischen mehreren Controllern auszudrücken ist aufgrund der restriktiven Implementierung der `FXMLLoader`-Klasse nur schwer umzusetzen. Daraus resultiert, dass die Nutzung von eigenen Annotationen welche wie `@FXML`, eine Interaktion zwischen in der FXML-Datei definierten Elemente und der eigentlichen Controller-Klasse ermöglichen, mit den Bordmitteln von JavaFX nicht möglich ist.

---

<sup>7</sup>JUnit 5: <https://junit.org/junit5/>



## 4. Konzeption und Entwurf

ion\_und\_entwurf)? In diesem Kapitel werden mögliche Probleme bei der Entwicklung sowie bei der Nutzung von JavaFX Anwendungen identifiziert. Dabei wird ein besonderer Fokus auf das Finden von Architekturmängeln, fehlenden Funktionalitäten und verbesserungswürdigen Techniken gelegt. Um eine Fehleranfälligkeit zu reduzieren, sollen komplexe und sich häufig wiederholende Quelltextbausteine automatisch erstellt oder durch Annotationen vereinfacht werden. Die vollständige Substitution eines aufwendigen Prozesses ist dabei ebenfalls möglich. Probleme, Vereinfachungen oder Verbesserungen sollen durch das Untersuchen von vorhandenen, quelloffenen JavaFX-Projekten und Bibliotheken gefunden werden. Auch sollen Ideen und Konzepte zusammengetragen werden, welche auf JavaFX anwendbar sind, jedoch nur in anderen Bibliotheken und Frameworks aufzufinden sind.

Bei der Problemanalyse wird stets das Ziel verfolgt, das Entwickeln mit JavaFX zu vereinfachen – besonders für noch unerfahrene Entwickler. Danach wird eine Anforderungsanalyse durchgeführt, mit welcher systematisch funktionale sowie nicht-funktionale Anforderungen auf der Basis der gefundenen Probleme erstellt werden. Auf die Anforderungserhebung folgt die Konzeption des benötigten Systems und der zugrundeliegenden Architektur. Essentielle Komponenten werden mit UML Diagrammen entworfen und im Detail erläutert. Bei der Existenz verschiedener Lösungsstrategien für ein Problem, wird jede Strategie einzeln beleuchtet und nach Kriterien wie Sinnhaftigkeit und Machbarkeit entschieden, welche für das System am besten geeignet ist. Wichtige Richtlinien wie die angestrebte Softwarequalität werden ebenfalls beschrieben.

### 4.1. Identifikation von Problemen und komplexen Strukturen in der JavaFX Entwicklung

(problemanalyse)? Im Folgenden werden generelle Probleme bei der Entwicklung von JavaFX Anwendungen identifiziert. Dazu gehören Mechanismen welche aufgrund ihrer Komplexität nicht für Anfänger geeignet sind oder von erfahrenen Entwicklern häufig genutzt und somit möglicherweise vereinfacht werden können. Obwohl dabei Annotationen als Basis für eine Vereinfachung dienen, wird auch das Erstellen von zusätzlichen Klassen oder dem Entwickeln von Erweiterungen für existierenden JavaFX Konzepte als Alternative für diese Zielerreichung in Betracht gezogen. Die Lösungen der gefundenen Probleme werden in einer Anforderungsanalyse durch funktionale und nichtfunktionale Anforderungen in Abschnitt 4.2 gelöst.



### 4.1.1. Internationalisierung und Lokalisierung

In der Informatik, speziell in der Softwareentwicklung, ist die Internationalisierung ein wichtiger Bestandteil eines Softwareproduktes, bei welchen die Entwickler die Software so gestalten, dass diese ohne viel Aufwand für andere internationale Märkte mit anderen Kulturen und Sprachen verfügbar gemacht werden kann [Rei05]. Dabei wird beispielsweise eine einfache Schnittstelle für das Verwenden von verschiedenen Sprachen entwickelt, welche das Übersetzen von vorhandenen Textfeldern und anderen textbasierten Elementen in grafischen Benutzeroberflächen, Konfigurationsdateien oder Konsolenausgaben ermöglicht. Die Schnittstelle wird dabei so entwickelt, dass ohne eine Änderung des Quelltextes, neue Sprachen hinzugefügt werden können. Die Lokalisierung beschreibt dann unter anderem die Übersetzung von den eben genannten Elementen.

Dieses Konzept kann durch die von Java bereitgestellte `ResourceBundle` Klasse realisiert werden [DCL01]. Bei der Verwendung eines solchen `ResourceBundles` wird jedem zu übersetzenden Element ein Schlüssel zugeordnet und nach Konvention, in einer `.properties` Datei gespeichert. Wenn eine neue Sprache im Laufe des Lokalisierungsprozesses hinzugefügt werden soll, so muss jeweils eine neue `.properties` Datei angelegt werden. JavaFX ermöglicht das manuelle Spezifizieren einer vordefinierten `ResourceBundle` Instanz bei dem Laden einer FXML Datei durch einen `FXMLLoader`. In der zu ladenden FXML Datei müssen hartcodierte Textelemente durch den jeweiligen Schlüssel aus der `.properties` Datei, wie in Abbildung 4.1 gezeigt, ersetzt werden.

<pre># Properties Datei login.user = Benutzername</pre>	<pre>&lt;!-- FXML Datei --&gt; &lt;Label text="%login.username"/&gt;</pre>
---	--

Code 4.1: Nutzung des Schlüssels in einer FXML Datei.

?{lst:fxmlkey)?

Das Problem bei dieser Art der Übersetzung ist, dass eine Änderung der Sprache zur Laufzeit des Programms nicht dynamisch möglich ist. Die FXML Datei bzw. der dazugehörige Controller muss nach einer Sprachänderung durch beispielsweise eine Schaltfläche oder ein Dropdown-Menü durch einen FXML-Loader neu geladen werden, damit eventuelle Änderungen übernommen werden können. Das dynamische Ändern der Sprache zur Laufzeit ist nur mit einer Modifizierung des Ladeprozesses von FXML Dateien durch eine eigene Version des `FXMLLoaders` oder durch eine vom `FXMLLoader` unabhängige Implementierung durch Properties und Bindings möglich. Die erste Variante sorgt für ein automatisches Binden der nötigen Properties und die Letztere für ein manuelles Binden wenn nötig, weshalb eine Fusion beider Möglichkeiten in eine hohe Anpassbarkeit des Systems resultiert. Außerdem ist es auf diese Weise möglich, verschiedene Bindings zu aktualisieren, falls ein bestimmtes Event auftritt, welches eine Änderung des übersetzten Textes hervorruft. Parameterisierte Schlüssel aus der `.properties` Datei können somit automatisch

an die parameterverändernden Events gebunden werden.

#### 4.1.2. Abhängigkeitsinjektion für Controller

Bei der Abhängigkeitsinjektion werden Abhängigkeiten von Objekten zur Laufzeit des Programms bestimmt und zur Verfügung gestellt. Meist konfiguriert der Entwickler mithilfe einer externen Bibliothek die Bereitstellung der Abhängigkeiten in einer Konfigurationsdatei oder Konfigurationsklasse. Bei dem Nutzen einer Art von Abhängigkeitsinjektion ist die eigentliche Implementierung der Abhängigkeiten durch die abhängigen Objekte nicht bekannt. Diese kennen nur die Schnittstellen, weshalb ein Auswechseln der Schnittstellenimplementierung durch eine Änderung der jeweiligen Konfigurationsdatei/Konfigurationsklasse möglich ist. Durch diese explizite Trennung von Schnittstelle und Implementierung ist eine lose Kopplung der Komponenten gewährleistet, was wiederum zu einer hohen Flexibilität und zu einer hohen Wartbarkeit sowie Testbarkeit führt. Eine Injektion ist dabei durch Felder (Feldinjektion), Konstruktoren (Konstruktorinjektion) oder Setter (Setterinjektion) möglich. Die Funktionalität einer Injektion von Abhängigkeiten in einen Controller ist nicht direkt in JavaFX enthalten, kann aber durch das Verwenden von zum Beispiel Afterburner.fx<sup>5</sup> hinzugefügt werden. Eine Unterstützung von etablierten externen Bibliotheken zur Realisierung des Abhängigkeitsinjektionsmusters wie Spring<sup>1</sup>, Dagger<sup>2</sup> oder Guice<sup>3</sup> ist dadurch jedoch nicht gegeben. Aufgrund der Tatsache, dass alle drei genannten Bibliotheken mit der `jakarta.inject.Inject` Annotation, eine grundlegende Abhängigkeitsinjektion bereitstellen, kann ebendiese Annotation für eine Injektion innerhalb von Controllern verwendet werden. Ein Beispiel eines Controllers mit verschiedenen injizierten Diensten ist in Code 4.2 zu erkennen.

validate

```
rollerinjection)? public class TestController {

    @Inject
    private IUserService userService;

    @Inject
    private IDatabaseService dbService;

}
```

Code 4.2: Beispiel – Controller mit injizierten Diensten.

Die Implementierungen sollen durch den Entwickler in der jeweiligen Konfigurationsdatei/Konfigurationsklasse den Schnittstellen zugeordnet werden können.

<sup>1</sup>Spring: <https://spring.io>

<sup>2</sup>Dagger: <https://dagger.dev>

<sup>3</sup>Guice: <https://github.com/google/guice>

?(ft:guice)?

### 4.1.3. CSS Metadatengeneration

Ein wichtiger Bestandteil von JavaFX ist die Möglichkeit, das Aussehen und den Stil von einzelnen Komponenten wie Schaltflächen und Containerelementen durch die Verwendung von CSS zu modifizieren. Werden eigene Komponenten erstellt oder bestehende Komponenten erweitert, so erlaubt JavaFX das Hinzufügen von eigenen CSS Properties zu den jeweiligen Komponenten mithilfe von neuen Instanzen der `CssMetaData` Klasse. Für jede neue CSS Property muss dabei eine neue `CssMetaData` Instanz erstellt werden, weshalb das Hinzufügen von vielen solcher Instanzen ein repetitiver Prozess mit vielen Boilerplate Quelltextfragmenten ist, welcher durchaus vereinfacht werden kann.

### 4.1.4. JavaFX Einstiegspunkt und Preloader

Damit eine JavaFX Applikation gestartet werden kann muss, wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, eine Klasse existieren, welche von der `Application` Klasse erbt. Müssen bestimmte performanceintensive Aufgaben wie das Laden von Sound-/Video- oder Bilddateien vor dem Start der eigentlichen Anwendungen ausgeführt werden, so kann dies in einer Klasse, welche von der `Preloader` Klasse erben muss, realisiert werden. Der `Preloader` ist dabei eine spezialisierte Form der `Application`, welche es dem Entwickler ermöglicht, Ressourcen zu laden und durch eventbasierte Statusaktualisierungen, dem Nutzer mitzuteilen. Damit ein `Preloader` mit einer standardmäßigen JavaFX Anwendung verbunden werden kann, muss statt `Platform#launch`, die interne `PlatformImpl#launchApplication` Methode genutzt werden. Das Verwalten der Aufgaben, welche vor dem Anwendungsstart durchgeführt werden müssen, soll vereinfacht werden, wobei insbesondere die vorhandenen Statusaktualisierungen erweitert werden sollen. Auch die Initialisierung einer Applikationsklasse bzw. der benötigten `Stage` läuft in den meisten Fällen gleich ab und soll bei Bedarf vom Entwickler zu einem großen Teil automatisiert werden können.

### 4.1.5. Controller Lebenszyklus

roller\_lebenszyklus)? Der Lebenszyklus von JavaFX Controllern ist in der aktuellen Ausführung für komplexe Systeme mit vielen Controllern ungeeignet, da dieser nur aus zwei Phasen besteht. Zuerst wird die Controllerklasse instanziiert und darauf folgt die Initialisierung der `@FXML` Felder und der Methodenaufruf einer vom Entwickler bereitgestellten `initialize` Methode. Damit mit fertig initialisierten `@FXML` Feldern gearbeitet werden kann, muss der dafür benötigte Quelltext immer in der `initialize` Methode definiert werden. Ein Beispiel für den Ablauf einer Controllerinstanziierung durch den `FXMLLoader` ist in Code 4.3 abgebildet. Der rudimentäre Lebenszyklus unterstützt dabei keine Methoden, welche beispielsweise bei einem Entfernen des Wurzelements eines Controllers aus dem Szenengraphen ausgeführt wird um eventuell offene Ressourcen zu schließen und somit effektiv Ressourcenlecks zu ver-

hindern. Ein vollständiger Lebenszyklus wie bei Activities in Android<sup>4</sup>, ist praktisch nicht vorhanden.

---

```
erinstantiation)?public class TestController {

    @FXML
    private Label testLbl;

    public TestController() {
        // Phase #1 - Controllerinstanziierung
        // testLbl-Feld ist hier noch nicht initialisiert
    }

    @FXML
    private void initialize() {
        // Phase #2 - Feldinjektion fertiggestellt
        // testLbl-Feld ist initialisiert und kann verwendet werden
    }

}
```

---

Code 4.3: Beispiel – Instanziierungsablauf.

#### 4.1.6. Konfigurationsdateien

Eine persistente Speicherung von Anwendungskonfigurationen wie beispielsweise Logindaten oder Informationen für Serververbindungen ist wichtig für eine optimale Benutzerfreundlichkeit. Das Speichern von konfigurierbaren Einstellungen kann mit der Java Preferences API oder mit externen Bibliotheken wie GSON, für auf JavaScript Object Notation (JSON) basierte Konfigurationsdateien oder JAXB, für auf XML basierte Dateien durchgeführt werden. Der Prozess des manuellen Erstellens einer Konfigurationsdatei und dem anschließenden Auslesen bzw. Modifizierung zur Laufzeit ist ein repetitiver Vorgang, welcher durch das Nutzen von Annotationen teilweise automatisiert werden kann.

#### 4.1.7. Zustandsserialisierung von grafischen Oberflächen

Das Speichern des aktuellen Zustands einer grafischen Oberfläche mit den jeweiligen Elementen ist aktuell mit dem Funktionsumfang von JavaFX nicht ohne Weiteres umsetzbar. Der Zustand einer Anwendung setzt sich aus den aktuellen Konfiguration von interaktiven Elementen im Szenengraphen zusammen. Beispielsweise ist die Position eines Schiebereglers oder der aktuell ausgewählte Tab einer TabPane nicht insoweit serialisierbar, dass dieser Zustand beim Applikationsende gespeichert und bei einem erneuten Applikationsstart wiederhergestellt werden kann.

---

<sup>4</sup><https://developer.android.com/guide/components/activities/activity-lifecycle>

## 4.2. Anforderungsanalyse

anforderungsanalyse)? In der Anforderungsanalyse werden die gefundenen Problemlösungen und Vereinfachungen aus Abschnitt 4.1 in Form von funktionalen und nichtfunktionalen Anforderungen formuliert. Dabei werden die Anforderungen in zwei Klassen unterteilt:

**Fundamentale Anforderungen** sind Anforderungen, welche für eine Funktion des Systems essentiell sind, alle genannten Probleme weitgehend beheben und daher zwangsläufig implementiert werden müssen. Alle folgenden fundamentalen Anforderungen haben den `[+A-##]` Präfix, wobei `+` durch die Art der Anforderung (funktional, nichtfunktional) und `##` durch die jeweilige Anforderungsnummer substituiert wird.

**Optionale Anforderungen** sind Anforderungen, welche keinen Einfluss auf eine ordnungsgemäße Funktionalität des Systems haben. Sie sind optional und werden möglicherweise aufgrund ihrer Komplexität nur teilweise oder gar nicht implementiert und können stattdessen für eine Erweiterung des Systems durch weitere Entwickler genutzt werden. Alle folgenden optionalen Anforderungen haben den `(+A-##)` Präfix, wobei `+` durch die Art der Anforderung (funktional, nichtfunktional) und `##` durch die jeweilige Anforderungsnummer substituiert wird.

### 4.2.1. Funktionale Anforderungen

sanalyse\_funktional)? Im Folgenden werden alle funktionalen Anforderungen definiert. Sie beschreiben alle gewünschten Funktionen des Endproduktes.

#### [FA-01] Ermitteln und Konfiguration des JavaFX-Einstiegspunktes

Der Erstellen einer Applikationsklasse sowie eines optionalen Preloaders soll automatisch stattfinden, da der Erstellungsprozess von auf JavaFX basierten Anwendungen in den meisten Fällen ähnlich oder identisch ist. Das Definieren dieser Elemente soll mithilfe von Annotationen geschehen und durch das Absuchen des Klassenpfades durch die entwickelte Bibliothek gefunden werden. Alternativ soll der Entwickler die Möglichkeit haben, den Einstiegspunkt sowie den Preloader explizit zu spezifizieren, falls eine automatische Identifikation nicht erwünscht oder benötigt ist. Die vordefinierten Einstiegspunkte sollen eine Standardkonfiguration der Applikation und der zugrunde liegenden Stage Instanz bereitstellen, welche durch den Entwickler bei Bedarf auch manuell überschrieben werden kann. Dieses Überschreiben soll durch die Nutzung des Erbauer-Entwurfsmusters oder durch Annotationen erfolgen. Die Standardkonfiguration umfasst grundsätzliche Applikationseigenschaften wie den Titel, die Fenstergröße oder Designelemente wie den `StageStyle` und die benötigten Titelleistenschaltflächen.

**[FA-02] Eventbasierte Verwaltung des Applikationslebenszyklus**

Die Verwaltung des Applikationslebenszyklus soll mithilfe von Annotationen im Einstiegspunkt geschehen. Der Applikationslebenszyklus bezeichnet hier die vererbten `Application#init`, `Application#start` und `Application#stop` Methoden. Die Erstellung der Applikationsklasse soll wie in ?? beschrieben, durch die zu entwickelnde Bibliothek übernommen werden, weshalb die Aufrufe der eben genannten Methoden durch ein Event-System an den vom Entwickler spezifizierten Einstiegspunkt delegiert werden sollen. Beispielsweise wird statt der Überschreibung der `Application#start` Methode, eine Methode im Einstiegspunkt definiert, welche ein `StartEvent` als Parameter erhält und eine spezielle Annotation aufweist. Methoden für einen optionalen Preloader, sollen analog dazu definiert werden können.

Maybe add

**[FA-03] Dynamische Laufzeitübersetzung von JavaFX-Komponenten**

Die bereits existierenden Internationalisierungsmöglichkeiten sollen durch eine dynamische Übersetzung erweitert werden. Das Ändern der aktuellen Sprache soll durch beispielsweise einen Schaltflächenklick ausgelöst werden und zur Laufzeit die grafische Benutzeroberfläche aktualisieren. Ein Neustart der Anwendung oder ein erneutes Laden der FXML Dateien soll nicht mehr nötig sein. Der Entwickler soll dabei JavaFX Komponenten in Form von Objektattributen in Controllern annotieren können, welche durch eine verbesserte Version der `FXMLLoader` Klasse geladen und instanziiert werden sollen. Das dynamische Übersetzen der in der FXML Datei definierten Elemente soll per Element deaktivierbar sein. Die Funktionalität von externen FXML Parsern wie den Scene-Builder soll durch das Hinzufügen von eigener FXML Syntax dabei nicht kompromittiert werden. Übersetzbare Elemente, welche auf parameterabhängigen Übersetzungsschlüsseln basieren, sollen an JavaFX Properties gebunden werden können und bei Änderung dieser aktualisiert werden. Wird eine dynamische Übersetzung für nicht annotierbare Prozesse wie das Ausgeben von Nachrichten auf der Konsole oder generelle methodeninterne Textverarbeitung benötigt, so soll der Entwickler auf Utility-Klassen der Bibliothek zurückgreifen können, welche ebendiese Funktionalität zur Verfügung stellen.

**[FA-04] Abhängigkeitsinjektion durch etablierte externe Bibliotheken**

Werden externe Bibliotheken zur Abhängigkeitsinjektion genutzt, so sollen eventuelle Abhängigkeiten und Dienste automatisch in Controller injiziert werden. Die Nutzung etwaiger Bibliotheken und den dafür benötigten Konfigurationsdateien oder Konfigurationsklassen soll beim Start der Applikation spezifiziert werden können. Eine Unterstützung der Bibliotheken Dagger, Spring und Guice soll dem Entwickler ermöglicht werden.

**[FA-05] Automatische CSS Metadaten Generation**

Das Hinzufügen von CSS Properties zu benutzerdefinierten JavaFX Komponenten durch den Entwickler soll durch das Nutzen von Annotationen erleichtert werden. Durch die automatische Generation dieser Metadaten, sollen eventuell auftretende repetitive Quelltextbausteine vermieden werden. Das Initialisieren der JavaFX Anwendung durch die zu entwickelnde Bibliothek soll in eine Durchsuchung des Klassenpfades nach solchen CSS Metadaten Annotationen resultieren und die gefundenen Metadaten automatisch mit den durch die Annotation definierten Einstellungen instanziiieren.

**[FA-06] Annotationsbasierte Controllerdefinition**

Ein Controller soll als solcher erkannt werden, wenn dieser eine spezielle Annotation aufweist. Die Annotation muss dabei die Quelle der FXML und der CSS Datei enthalten und weitere auf Controller bezogene Konfigurationsmöglichkeiten bereitstellen.

**[FA-07] Erweiterung des Controllerlebenszyklus**

Der Lebenszyklus eines Controllers soll, ähnlich wie bei Android Activities, in mehrere Phasen eingeteilt sein, welche durch die Nutzung von Annotationen durch den Entwickler abrufbar gemacht werden sollen. Methoden, welche nach einer bestimmten Phase ausgeführt werden sollen, sollen mit der zu der Phase gehörenden Annotation annotiert werden können. Der Lebenszyklus soll um folgende Phasen erweitert werden:

- In der **AfterInject** Phase sind alle Abhängigkeitsinjektionen und alle Instanzierungen von JavaFX Komponenten vollständig abgeschlossen und somit durch den Entwickler im Controller verwendbar.
- In der **OnShow** Phase wird das Wurzelement des Controllers im Szenengraphen aktiv gerendert und ist somit durch den Endbenutzer in der grafischen Benutzeroberfläche zu erkennen.
- In der **OnHide** Phase wurde das Wurzelement des Controllers aus dem Szenengraphen entfernt und dementsprechend nicht gerendert.
- In der **OnDestroy** Phase werden alle zwischengespeicherten Ressourcen und Informationen des Controllers entfernt. In dieser Phase sollen eventuell offene Ressourcen geschlossen werden. Damit der Controller wiederverwendet werden kann, muss eine erneute Initialisierung durch beispielsweise einen FXMLLoader erfolgen.

**[FA-08] Unterstützung von mehreren Lebenszyklusbehandlungsmethoden**

Wenn mehrere Methoden mit denselben Lebenszyklusannotationen annotiert wurden, so soll die Reihenfolge der Aufrufe dieser, anhand eines optionalen Parameters in der Annotation bestimmt werden. Weisen mehrere Annotationen dieselbe Priorisierung auf, so soll nach der Deklarationsreihenfolge in der Klasse sortiert werden.

**[FA-09] Controllerverschachtelung und Supercontroller**

Ist das Wurzelement eines Controllers in einem durch einen weiteren Controller aufgespannten Teilbaum des Szenengraphen enthalten, so handelt es sich bei ersterem Controller um einen Subcontroller des Letzteren. Subcontroller sollen bei Phasenänderung des Lebenszyklus ihres Supercontrollers benachrichtigt werden. Beispielsweise soll der Subcontroller in die OnHide Zustand wechseln, wenn der Supercontroller in denselben Zustand wechselt. Diese Beziehung soll bei Möglichkeit automatisch ermittelt werden aber dennoch explizit durch den Entwickler bei der Controllerdefinition deklariert werden können.

**[FA-10] Gruppierung von ähnlichen Controllern**

Ähnliche Controller sollen bei Definition, sogenannten Controllergruppen zugeordnet werden können. Eine Controllergruppe teilt sich dasselbe Wurzelement, weshalb immer nur ein Controller einer Controllergruppe gleichzeitig aktiv sein kann. Ein Controller soll dabei nur einer Controllergruppe zuordenbar sein. Wechselt der aktive Controller einer Controllergruppe, so soll die Controllergruppe davon in Kenntnis gesetzt werden und eventuelle Phasenwechsel von betroffenen Controllern ausgelöst werden. Verschachtelte Subcontroller sollen dabei zwischen einem Wechsel durch einen Supercontroller und einem selbst ausgelösten Wechsel differenzieren können.

**[FA-11] Zyklusprävention**

Damit keine unendlichen Schleifen und Prozesse aus dem falschen Nutzen des Systems resultieren, muss eine Art von Zyklusdetektion bei der Verschachtelung von Controllern erfolgen. Beispielsweise darf Controller A nicht als Supercontroller von Controller B definiert sein, wenn B, den Controller A ebenfalls als Supercontroller definiert.

**[FA-12] Wechsel von Controllern**

Das Wechseln von Controllern soll durch das vom Controller-System bereitgestellte Eventsystem ermöglicht werden. Ein manuelles Wechseln der Controller soll somit durch die Absendung eines Events durchführbar sein. Das automatische Wechseln eines Controllers soll durch vereinfachende Strukturen wie Annotationen über Schaltflächendefinitionen erleichtert werden. Der Entwickler soll den Wechsel durch die Angabe von Animationsparametern ästhetisch individualisieren können.



**[FA-13] Controller Preloading**

Controller werden standardmäßig On-Demand geladen, also nur dann, wenn sie benötigt werden. Wenn der Entwickler einen Preloader definiert hat, dann soll das Erstellen und Initialisieren aller controllerrelevanten Elemente und Strukturen in dieser Preloading-Phase stattfinden können.

**[FA-14] Globale Fehlerbehandlung**

Beim Start der Anwendung, sollen optionale Klassen zur globalen Fehlerbehandlung spezifiziert werden können. Wird eine solche Klasse nicht durch den Entwickler angegeben, so soll auf eine vom System bereitgestellte Klasse zur Fehlerbehandlung zurückgegriffen werden. Auftretende Fehler im Controllersystem, ob reflektiv bedingt oder nicht, sollen so an zentraler Stelle verwaltet und optional als Fehleranzeige auf dem Hauptcontroller angezeigt werden können.

**[FA-15] Geteilte Ressourcen**

Controller sollen die Möglichkeit haben, bestimmte Felder mit anderen Controllern zu teilen. Geteilte Felder werden als solche identifiziert, wenn diese eine spezielle Annotation aufweisen. Das Controller-System soll dabei Referenzen von den jeweiligen Feldwerten erstellen und diese dann in Form von JavaFX Properties zur Verfügung zu stellen. Geteilte Ressourcen sollen dabei durch ihren Feldnamen oder optional durch einen Parameter der Annotation identifiziert werden. Der Annotationsparameter hat dabei immer eine höhere Priorität. Wird der Wert einer geteilten Ressource geändert, so soll sich diese Änderung in allen anderen Controllern mit ebendieser Ressource widerspiegeln.

**[FA-16] JavaFX Events durch Annotationen**

Häufig genutzte JavaFX Events wie beispielsweise das `ActionEvent` sollen durch einfache Annotationen mit im Controller definierten Methoden assoziiert werden. Tritt ein über diese Methode definiertes Event auf, so soll die dazugehörige Methode des Controllers aufgerufen werden. Damit die Verbindung zwischen Feld und Methode gewährleistet ist, müssen beide Elemente annotiert werden und einen gemeinsamen Identifikator, welche den Annotationen als Parameter übergeben wird, aufweisen.

**[FA-17] Generation von Konfigurationsdateien**

Felder eines Controllers sollen bei der Controllererstellung, durch das Nutzen von automatisch oder manuell erstellten Konfigurationsdateien, gesetzt werden, falls diese eine spezielle Annotation aufweisen. Der Konfigurationsschlüssel kann durch einen Annotationsparameter festgelegt werden.

**(FA-18) Optional – Serialisierung von JavaFX Komponenten**

?⟨freq18⟩?

Die Position und die aktuelle Konfiguration von jedem JavaFX Element, welches im Szenengraphen präsent ist, soll bei einem Ende der Anwendung gespeichert werden und bei dem nächsten Start rekonstruiert werden. Dadurch bleibt der aktuelle Zustand der grafischen Oberfläche auch bei Anwendungsterminierung erhalten.

**(FA-19) Optional – Scheduling von Methoden**

?⟨freq19⟩?

Controllerinterne Methoden sollen von Entwickler als sog. Scheduler definiert werden. Eine solche Methode wird dann in einem bestimmten Zeitintervall automatisch ausgeführt und gegebenenfalls wiederholt. Das Verhalten der Methode (wiederholend, zeitverzögert) kann durch Annotationsparameter kontrolliert werden.

**(FA-20) Optional – JavaFX Application-Thread Forcierung**

?⟨freq20⟩?

Einige Operationen auf Elemente des JavaFX Szenengraphen müssen auf dem JavaFX Application-Thread ausgeführt werden. Dazu gehört beispielsweise das aktive Ändern von renderbaren Elementen wie Textfeldinhalte oder Schaltflächen. Controllerinterne Methoden sollen auf dem JavaFX Application-Thread ausgeführt werden, wenn diese eine bestimmte Annotation aufweisen.

**(FA-21) Optional – Annotationsvalidierung zur Kompilierzeit**

?⟨freq21⟩?

Reflektive Operationen sind definitionsbedingt nur per Laufzeit der Anwendung ausführbar. Das Auslesen und Verarbeiten von annotierten Elementen und Annotationen im Allgemeinen durch reflektive Operationen kann somit nur zur Laufzeit erfolgen. Ob eine Annotation inkorrekte oder ungenügende Informationen enthält oder falsche Typen annotiert wurden ist dem Entwickler nur durch die Auslösung von Ausnahmen zur Laufzeit mitzuteilen. Beispielsweise ist es offensichtlich inkorrekt, ein Feld, welches einen JavaFX Container repräsentiert (z.B. `StackPane`), mit einer Annotation zu annotieren, welche für die Übersetzung von Komponenten verantwortlich ist. Das Überprüfen der Korrektheit der Annotationsnutzung soll nicht nur durch eine Laufzeitfehlerbehandlung sondern auch durch einen Annotationsprozessor zur Kompilierzeit durchgeführt werden. Eventuelle Fehlkonfigurationen werden somit bereits beim Kompilierungsvorgang entdeckt und dem Entwickler mitgeteilt.

**4.2.2. Nichtfunktionale Anforderungen**

nichtfunktional)?

Im Folgenden werden alle nichtfunktionalen Anforderungen definiert. Sie beschreiben Qualitätseigenschaften an das System wie Möglichkeiten der Erweiterbarkeit und Wartbarkeit und spezifizieren Maßstäbe, welche zur Laufzeit der Anwendung eingehalten werden müssen. Darunter gehören beispielsweise die effiziente Ressourcennutzung, die Korrektheit des Systems sowie ein gewisser Grad an Zuverlässigkeit.

**[NFA-01] Benutzerfreundlichkeit****?<nreq1>?**

Das Erstellen von JavaFX Anwendungen soll durch das Nutzen der zu entwickelnden Bibliothek erleichtert werden. Um diese Erleichterung sicherzustellen, müssen implementierte Komponenten ausreichend dokumentiert sein und intuitiv durch den Entwickler nutzbar gemacht werden. Komplexe und überflüssige Strukturen sollen vermieden werden. Jedes durch diese Bibliothek bereitgestellte konfigurierbare System, muss Standardparameter zur Konfiguration bereitstellen und bei Bedarf eine Konfigurationsänderung durch einen Entwickler zulassen.

**[NFA-02] Performance & Effizienz****?<nreq2>?**

Obwohl das vollständige System an vielen Stellen die Reflection API nutzen muss, soll sowohl der Entwickler als auch der Endnutzer keinen gravierenden Performanceunterschied feststellen können. Es soll sichergestellt werden, dass der durch die Reflection API geschaffene Performanceoverhead, minimal gehalten wird.

**[NFA-03] Wartbarkeit****?<nreq3>?**

Die Bibliothek soll ohne viel Aufwand an sich verändernde Anforderungen anpassbar sein. Dazu muss das System allgemein anerkannte, softwaretechnische und objektorientierte Prinzipien erfüllen.

**[NFA-04] Erweiterbarkeit****?<nreq4>?**

Die Architektur soll mit einer besonderen Fokussierung auf das Nutzen von Schnittstellen entwickelt werden. Annotationsbasierte Konzepte, welche nicht im Standardumfang der von der Bibliothek bereitgestellten Funktionalitäten enthalten sind, sollen ohne viel Aufwand durch externe Entwickler hinzugefügt werden können.

**[NFA-05] Softwarequalität****?<nreq5>?**

Eine hohe Softwarequalität ist ein essentieller Faktor für ein System, welches auch außerhalb der eigenen Entwicklungsumgebung genutzt werden soll. Andere Entwickler müssen mit einem geringen Zeitaufwand, einen Überblick über das System mit allen wichtigen Komponenten und deren Beziehung untereinander, gewinnen können. Um eine hohe Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, müssen etablierte Entwurfsmuster genutzt und auf komplexen Quelltext verzichtet werden. Klassen müssen gut strukturiert und leicht verständlich implementiert werden.

**[NFA-06] Lizenzierung****?<nreq6>?**

Die zu entwickelnde Bibliothek muss eine Konformität zu den von externen Bibliotheken genutzten Lizenzen aufweisen. Etwaige Lizenzverletzungen sind zu vermeiden.

### 4.3. Konzept und Modellierung

nd\_modellierung)? Im Folgenden wird die, für das Erfüllen aller vorher genannten Anforderungen, benötigte Architektur konstruiert. Dabei werden ähnliche Systemanforderungen in Gruppen unterteilt und in Form von allgemeinen Zielen an das System zusammengefasst. Für jedes daraus resultierende Ziel, werden theoretische Implementierungsmöglichkeiten identifiziert, bei welchen benötigte Komponenten, die Beziehung zwischen den Komponenten und die eventuelle Nutzung von Entwurfsmuster ermittelt werden. Dabei wird besonders auf eine hochwertige Softwarequalität und Usability geachtet. Grundlegende, notwendige Entscheidungen wie die Namensgebung der Bibliothek und die Nutzung von externen Bibliotheken für eine effizientere und leichtere Implementierung werden ebenfalls getroffen.

#### 4.3.1. Ziele des Systems

Aus der Problemanalyse und der nachfolgenden Erhebung von funktionalen und nichtfunktionalen Anforderungen ergeben sich drei grundlegende Ziele des Systems:

- Erstellung von auf Annotationen basierenden Vereinfachungen für anspruchsvolle Aspekte der JavaFX-Programmierung.
- Erweiterung von bereits existierenden Funktionen wie die Lokalisierung und die Controllerverwaltung.
- Hinzufügen von Funktionen, welche aktuell nicht im Funktionsumfang von JavaFX enthalten sind wie die Abhängigkeitsinjektion.

Alle Ziele sollen neuen Entwicklern den Einstieg in JavaFX erleichtern aber auch erfahrenen Entwicklern die Möglichkeit geben, effizienter mit JavaFX zu programmieren. Dazu müssen diese nicht unbedingt die vom System zu Verfügung gestellten Annotationen verwenden, sondern können auch die Utility Klassen und eventuell die vereinfachte Schnittstelle zur Java Reflection API nutzen.

#### 4.3.2. Rahmenbedingungen und Designentscheidungen

nentscheidungen)? Nachfolgend werden grundlegende Designentscheidungen der Softwarearchitektur und Rahmenbedingungen für die Entwicklung der Software als Ganzes dargelegt.

##### Namensgebung

Die zu entwickelnde Bibliothek benötigt einen Namen, welcher die Beziehung zu JavaFX verdeutlicht und gleichzeitig aufzeigt, dass die Vereinfachung und die Erweiterung von JavaFX Bausteinen und einzelnen Komponenten angestrebt wird und deshalb die oberste Priorität darstellt. Nachfolgend wird die Bibliothek als **SimpliFX** bezeichnet. SimpliFX ist dabei an das englische Wort simplify angelehnt, welches ins Deutsche übersetzt vereinfachen bzw. simplifizieren

bedeutet. Damit die Verbindung zu JavaFX untermauert wird, ist das FY Suffix durch das FX Suffix substituiert worden.

### Modularisierung

Gute Softwaresysteme bestehen aus vielen Komponenten, welche jeweils auf eine einzelne Funktion spezialisiert sind. Einige dieser Komponenten funktionieren unabhängig von Anderen und können durch eine Dekomposition des Systems in unterschiedliche Module unterteilt werden. Eine modulare Softwarearchitektur folgt dem softwaretechnischen SoC Prinzip und resultiert in einer hohen Wartbarkeit sowie Erweiterbarkeit. Außerdem ermöglicht eine Modularisierung, dass einzelne Module aufgrund ihrer strikten Trennung einfacher ausgetauscht werden können.

Häufig genutzte reflektive Operationen der Reflection API müssen durch eine einfache Schnittstelle für SimpliFX zugänglich gemacht werden. Diese Schnittstelle muss ein ordnungsgemäße Ausnahmebehandlung aufweisen, da das Nutzen der Reflection API sehr fehleranfällig ist und sehr effizient implementiert werden, da etwaige Operationen langsamer sind als Nutzen von herkömmlichen Java-Sprachfeatures. Diese Schnittstelle wird in einem von SimpliFX unabhängigen Apache Maven<sup>6</sup> Modul ausgelagert. Auch die Testapplikationen, welche nach der Implementierung des eigentlichen Systems entwickelt werden und für die Evaluation von diesem dienen, werden in ein anderes Modul ausgelagert. Das Basissystem ist somit in einem dritten Modul zu finden und ist für die aus den Systemanforderungen resultierenden Funktionalitäten verantwortlich. Die verschiedenen Subsysteme werden dabei in Java-Pakete unterteilt.

### Externe Bibliotheken

Externe Bibliotheken sind ein wichtiger Bestandteil von heutigen Anwendungen und können, aufgrund von Entwicklungsumgebungen wie IntelliJ IDEA<sup>5</sup> oder Build-Management-Tools wie Apache Maven<sup>6</sup> und Gradle<sup>6</sup>, einfacher als je zuvor einem Projekt hinzugefügt werden. Externe Bibliotheken haben dabei meist den Vorteil, dass diese oft als quelloffene Projekte für jeden Entwickler einsehbar und nutzbar sind und deshalb, aufgrund der vielen Beiträge von anderen Entwicklern, meist keine Fehler aufweisen. Auf der einen Seite ist das Nutzen von externen Bibliotheken, im Vergleich zum manuellen Erstellen der selben Funktionen, ein effektiver Weg um Zeit zu sparen und Bugs zu vermeiden. Auf der anderen Seite kann das Nutzen von vielen externen Bibliotheken, aufgrund der verschiedenen Softwarelizenzen für quelloffene Projekte, zu Problemen führen, da nicht alle Lizenzen eine Kompatibilität untereinander aufweisen. Für das Projekt werden nur Bibliotheken verwendet, welche unter X oder Y lizenziert wurden. Alle verwendeten externen Bibliotheken sind mit einer Kurzbeschreibung der Funktion und der jeweiligen Lizenz in Tabelle 4.1 dargestellt.

<sup>5</sup>IntelliJ IDEA: <https://www.jetbrains.com/de-de/idea/>

<sup>6</sup>Gradle: <https://gradle.org>

Bibliothek	Funktion	Version	Lizenz
JavaFX	Ermöglicht die Erstellung von Java Applikationen mit grafischen Oberflächen	16	GPLv2 <sup>7</sup>
ASM	Erlaubt die Modifikation von Java-Bytecode	9.1	BSD <sup>8</sup>

Tabelle 4.1.: Verwendete Externe Bibliotheken.

ernal\_libraries)?

### 4.3.3. Benötigte Schnittstellen

Für eine optimale und effiziente Implementierung von SimpliFX, müssen einige Java Schnittstellen durch Eigene vereinfacht oder Schnittstellen für nicht vorhandene Funktionen hinzugefügt werden. Fast jede der aufgestellten Anforderungen benötigt für Teilfunktionen die Reflection API. Diese ist relativ fehleranfällig und nahezu alle reflektiven Operationen können Ausnahmen erzeugen, weshalb ein vereinfachender Zugang zu ebendieser API wünschenswert ist. Außerdem müssen Subsysteme entwickelt werden um beispielsweise nach ?? bestimmte annotierte Klassen aus dem Klassenpfad zur Laufzeit der Anwendung zu identifizieren. Im Folgenden werden die benötigten Subsysteme erläutert und die erforderlichen Komponenten mithilfe geeigneter Methoden modelliert. In Klassendiagrammen werden nur elementare Bestandteile der Klassen dargestellt und Funktionen wie Getter oder Setter, welche erst bei der eigentlichen Implementierung benötigt werden und für das Verständnis nicht relevant sind, werden weggelassen.

#### Schnittstelle: Reflection

Die Reflection Schnittstelle soll alle häufig genutzten reflektiven Operationen, wie das Aufrufen von Methoden, das Instanzieren von Klassen, den Zugriff auf Felder und das Auswerten mit Annotationen, an einem zentralen Ort ermöglichen. Reflektierbare Elemente sollen durch eigene Schnittstellen repräsentiert werden, welche, für diese relevante, Operationen zur Verfügung stellen. Diese spezialisierten Klassen werden im Folgenden ReflectionScopes genannt, welche grundlegende Konfigurationen und Funktionen für die Modifikation des zu betrachteten Elementes bereitstellt. Alle ReflectionScopes sind mit ihrer jeweiligen Funktionalität in Tabelle 4.2 aufgelistet und detailliert als UML Klassendiagramme in Abbildung 4.1 dargestellt. Außerdem ist der Wechsel von ReflectionScopes möglich. So ist es beispielsweise möglich von einer ClassReflection über einen gefundenen Konstruktor zu einer ConstructorReflection Instanz zu wechseln.

<sup>7</sup>GPLv2 mit Classpath Exception: <https://openjdk.java.net/legal/gplv2+ce.html>

<sup>8</sup>3-Clause BSD: <https://asm.ow2.io/license.html>

ReflectionScope	Funktion
ClassReflection	Stellt Funktionen zum Finden von Methoden und Konstruktoren basierend auf modifizierbaren Filtern zur Verfügung.
ConstructorReflection	Ermöglicht das Erstellen von Klassen durch den repräsentierten Konstruktor.
InstanceReflection	Ermöglicht die Modifizierung von bereits instanziierten Objekten durch bspw. das Finden von Methoden oder Feldern.
MethodReflection	Erlaubt das Aufrufen von Methoden mit ihren jeweiligen Parametern.
FieldReflection	Stellt Funktionen zum Setzen und zum Auslesen von Feldern zur Verfügung.

Tabelle 4.2.: Alle benötigten ReflectionScopes.

b:reflection\_scopes)?

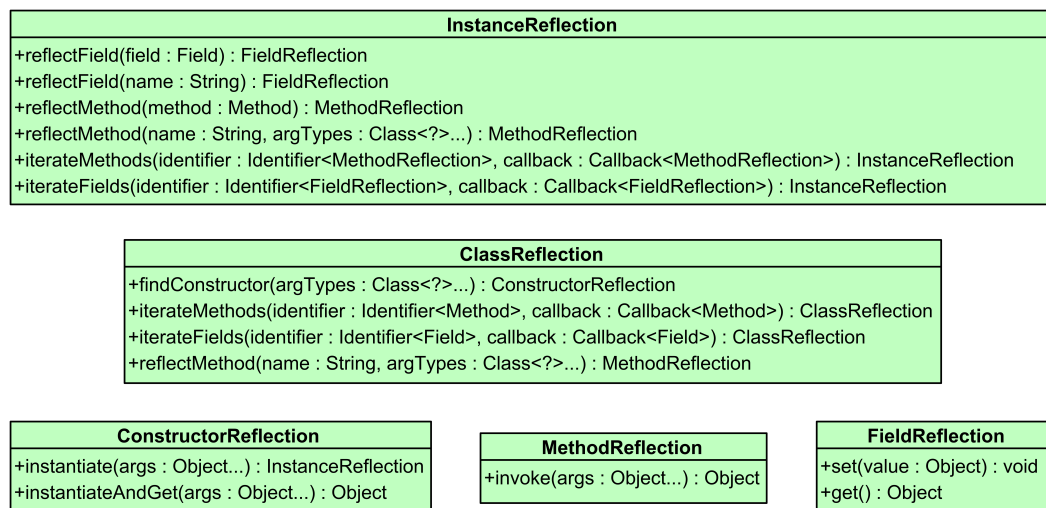


Abbildung 4.1.: Diagramm – ReflectionScopes

g:reflection\_scopes)?

Aus den Klassendiagrammen ist schlusszufolgern, dass alle häufig genutzten reflektiven Operationen durch die Verwendung von Method Chaining, also der Hintereinanderausführung von Methoden, welche Operationen auf dem Objekt ausführen und es dabei zurückgeben, möglich sind. Ein theoretisches Anwendungsbeispiel der Reflection Schnittstelle ist in Code 4.4 dargestellt. Dabei wird eine Instanz der Test Klasse mit einem Integer Konstruktorparameter erstellt, welcher als Objektattribut in der Instanz gespeichert wird und mithilfe einer InstanceReflection daraufhin modifiziert wird.

Maybe move to implementation chapter

```

eflection_usage)? // Klassendefinition
public static class Test {

    private int test;

    public Test(int test) {
        this.test = test;
    }

}

// Instanziierung und Feldzugriff
InstanceReflection i = Reflection.reflect(Test.class)
    .findConstructor(int.class).instantiate(10);
FieldReflection f = i.reflectField("test").forceAccess();
f.set(42);
System.out.println(f.get()); // 42

```

Code 4.4: Beispiel – Verwendung der Reflection Schnittstelle.

### Schnittstelle: Klassenpfad

Damit die Automatisierungsmaßnahmen nach ?? und ?? zum Finden von speziell annotierten Elementen möglich sind, muss eine Art von Klassenpfad-Scanner implementiert werden. Dabei werden alle Klassen, welche in den durch `ClassLoader` Instanzen bereitgestellten Klassenpfaden gefunden werden, nach den jeweiligen Annotationen gefiltert (siehe Abbildung 4.2). Das Finden aller Klassen im Klassenpfad muss sowohl für normale Dateisysteme als auch für Applikationen, welche in Java Archiven gepackt worden sind, möglich sein. Um Klassen auf beispielsweise Annotationen zu filtern darf, aufgrund von möglichen Sicherheitsrisiken und Performanceproblemen, kein `Class` Objekt mittels `Class.forName` erstellt werden. Dadurch soll verhindert werden, dass eventuelle `static`-Blöcke ausgeführt werden. Das Scannen einer Klasse, ohne den `static`-Block auszuführen, kann durch die ASM Bibliothek<sup>8</sup>, mithilfe des Besucher Entwurfsmusters erfolgen. Außerdem muss der Scanprozess eine gewisse Konfigurierbarkeit aufweisen, da manuell `ClassLoader` Instanzen zum Scanprozess hinzugefügt werden sollen und um eine optimale Performance zu gewährleisten, soll ein initialer Paketname oder Teilstring eines Paketes angegeben werden können, damit nicht benötigte Klassen, schon im Scanprozess ignoriert werden. Ergebnisse des Scans müssen in einem Cache zwischengespeichert werden, damit nicht jeder Filtervorgang den Klassenpfad erneut scannen muss und somit unnötigerweise einen Performance-Hotspot kreiert.

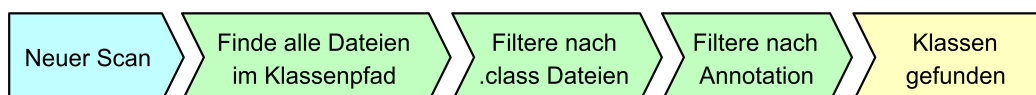


Abbildung 4.2.: Diagramm – Klassenpfad-Scanprozess.

```

ath_scanprocess)?

```



**Schnittstelle: Lokalisierung**

# 5. Implementierung

implementierung)?

Implementierung

## 5.1. Architektur

?<architektur)?

Architektur

5.1.1. ...

5.2. ...

Extend



## 6. Evaluation

?(evaluation)?

Intro

### 6.1. Entwicklung von Beispielsoftware

ispielsoftware)?

Entwicklung von Beispielsoftware

### 6.2. Vergleich konventioneller Methoden mit entwickeltem System

h\_system\_javafx)?

Vergleich konventioneller Methoden mit entwickeltem System



## 7. Fazit

?<fazit>?

Intro

### 7.1. Zusammenfassung

zusammenfassung)?

Zusammenfassung

### 7.2. Bewertung

?<bewertung>?

Bewertung

### 7.3. Ausblick und mögliche Erweiterungen

e\_erweiterungen)?

Ausblick und mögliche  
Erweiterungen



## **A. Controllerbasierte JavaFX-Anwendung**

afx\_application)?



---

```
package de.testpackage;

import javafx.application.Application;

public static final class TestApplication extends Application {

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

    private Pane loadFXML(URL fxmlPath) throws IOException {
        return new FXMLLoader(fxmlPath).load();
    }

    @Override
    public void start(Stage primaryStage) {
        URL fxmlPath = this.getClass().getResource("test.fxml");
        Pane pane = null;
        try {
            pane = this.loadFXML(fxmlPath);
        } catch (IOException ex) {
            // error handling
            return;
        }
        Scene scene = new Scene(pane, 500, 500);
        primaryStage.setScene(scene);
        primaryStage.show();
    }
}
```

---

Code A.1: Anwendungscode.

---

```
package de.testpackage;

import javafx.fxml.FXML;
import javafx.scene.control.Button;

public final class TestController {

    @FXML
    private Button testBtn;

    @FXML
    private void onTestBtnClick() {
        // do something
    }

}
```

---

Code A.2: Beispielcontroller.

---

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>

<?import javafx.scene.control.Button?>
<?import javafx.scene.layout.Pane?>

<Pane xmlns="http://javafx.com/javafx" xmlns:fx="http://javafx.com/fxml"
    fx:controller="de.testpackage.TestController"
    stylesheets="test.css">
    <Button fx:id="testBtn" onAction="#onTestBtnClick">TestButton</Button>
</Pane>
```

---

Code A.3: FXML-Layout.

---

```
#testBtn {
    -fx-background-color: red;
}
```

---

Code A.4: CSS-Design.



# Abkürzungsverzeichnis

ungsverzeichnis)? **AWT** Abstract Window Toolkit

**CSS** Cascading Style Sheets

**DLL** Dynamic Link Library

**IoC** Inversion of Control

**JAXB** Jakarta XML Binding

**JDK** Java Development Kit

**JSON** JavaScript Object Notation

**LoC** Lines of Code

**MVC** Model-View-Controller

**MVVP** Model-View-ViewModel

**SoC** Separation of Concerns

**UML** Unified Modeling Language

**XML** Extensible Markup Language



# Quellcodeverzeichnis

2.1. Beispiel – Minimale JavaFX-Anwendung. . . . .	9
2.2. Beispiel – ChangeListener & EventHandler. . . . .	10
2.3. Beispiel – FXML Layouting. . . . .	11
2.4. Beispiel – FXML Ladeprozess. . . . .	11
2.5. Beispiel einer Annotationsdefinition. . . . .	12
2.6. Beispiel einer annotierten Klasse. . . . .	12
2.7. Deklaration – Normal Annotation. . . . .	13
2.8. Anwendung – Normal Annotation . . . . .	13
2.9. Deklaration – Single-Element Annotation. . . . .	13
2.10. Anwendung – Single-Element Annotation . . . . .	13
2.11. Deklaration – Marker Annotation. . . . .	14
2.12. Anwendung – Marker Annotation . . . . .	14
2.13. Beispiel einer Laufzeit Annotation. . . . .	14
2.14. Auslesen einer Laufzeit-Annotation. . . . .	15
2.15. Beispiel – Annotationsprozessor. . . . .	16
3.1. Beispiel – Interfacedeklaration. . . . .	18
3.2. Beispiel – Kompilierfehler. . . . .	18
3.3. Beispiel – Lombok POJO. . . . .	19
3.4. Repräsentation als XML Datei. . . . .	19
3.5. Repräsentation als Java Objekt. . . . .	19
4.1. Nutzung des Schlüssels in einer FXML Datei. . . . .	24
4.2. Beispiel – Controller mit injizierten Diensten. . . . .	25
4.3. Beispiel – Instanziierungsablauf. . . . .	27
4.4. Beispiel – Verwendung der Reflection Schnittstelle. . . . .	39



# Abbildungsverzeichnis

2.1. UML-Diagramm – Beobachter-Entwurfsmuster . . . . .	6
2.2. Diagramm – MVC-Entwurfsmuster . . . . .	7
4.1. Diagramm – ReflectionScopes . . . . .	38
4.2. Diagramm – Klassenpfad-Scanprozess. . . . .	39





# Tabellenverzeichnis

4.1. Verwendete Externe Bibliotheken. . . . .	37
4.2. Alle benötigten ReflectionScopes. . . . .	38



# Literaturverzeichnis

- [Anderson2019][AA19] ANDERSON, GAIL und PAUL ANDERSON: *The Definitive Guide to Modern Java Clients with JavaFX*, Kapitel JavaFX Fundamentals, Seiten 33–80. Stephen Chin, Johan Vos, James Weaver, 2019.
- [Albahari2019][AJ19] ALBAHARI, J. und E. JOHANNSEN: *C# 8.0 in a Nutshell: The Definitive Reference*. In a Nutshell. O'Reilly Media, 2019.
- [Burbeck1992][Bur92] BURBECK, STEVE: *Applications programming in smalltalk-80: how to use model-view-controller (mvc)*. 01 1992.
- [Cazzola2005][CCC] CAZZOLA, WALTER, ANTONIO CISTERNINO und DIEGO COLOMBO: *[a]C*.
- [Deutsch2001][DCL01] DEITSCH, ANDREW, DAVID CZARNECKI und MIKE LOUKIDES: *Java Internationalization*. O'Reilly amp; Associates, Inc., USA, 2001.
- [Deacon1995][Dea95] DEACON, JOHN: *Model-View-Controller (MVC) Architecture*. Online, August 1995.
- [Danelutto2007][DPV<sup>+</sup>07] DANELUTTO, MARCO, MARCELO PASIN, MARCO VANNESCHI, PATRIZIO DAZZI, DOMENICO LAFORENZA und LUIGI PRESTI: *PAL: Exploiting Java Annotations for Parallelism*, Seiten 83–96. 2007.
- [Forman2004][FFI<sup>+</sup>04] FORMAN, IRA R., NATE FORMAN, DR. JOHN VLISSIDES IBM, IRA R. FORMAN und NATE FORMAN: *Java Reflection in Action*, 2004.
- [Gao2019][Gao19] GAO, WEIQI: *The Definitive Guide to Modern Java Clients with JavaFX*, Kapitel Properties and Bindings, Seiten 81–141. Stephen Chin, Johan Vos, James Weaver, 2019.
- [Gamma1993][GHJV94] GAMMA, ERICH, RICHARD HELM, RALPH JOHNSON und JOHN VLISSIDES: *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Seiten 1–4, 293–303, 1994.
- [Gosling2005][GJSB05] GOSLING, JAMES, BILL JOY, GUY STEELE und GILAD BRACHA: *The Java Language Specification, Third Edition*, Seiten 268–281. 2005.
- [Grant2014][Gra14] GRANT, ANDREW: *Introduction to MVC*, Seiten 47–56. Apress, Berkeley, CA, 2014.

- [Hommel2013] [Hom13] HOMMEL, SCOTT: *Using JavaFX Properties and Binding*. <https://docs.oracle.com/javafx/2/binding/jfxpub-binding.htm>, April 2013. letzter Abruf: 26. Mai 2021.
- [Hughes2013] [HvDM<sup>+</sup>13] HUGHES, JOHN F., ANDRIES VAN DAM, MORGAN MCGUIRE, DAVID F. SKLAR, JAMES D. FOLEY, STEVEN FEINER und KURT AKELEY: *Scene Graphs*, Seiten 351–353. Addison-Wesley, Upper Saddle River, NJ, 3 Auflage, 2013.
- [?Jha2020?] [JN20] JHA, AJAY und SARAH NADI: *Annotation practices in Android apps*. 2020.
- [Juneau2013] [Jun13] JUNEAU, JOSH: *JavaFX in the Enterprise*, Seiten 615–646. Apress, Berkeley, CA, 2013.
- [Khan2021] [KCV21] KHAN, FAIZAN, BOQI CHEN, DANIEL VARRO und SHANE MCINTOSH: *An Empirical Study of Type-Related Defects in Python Projects*. IEEE Transactions on Software Engineering, Seiten 1–1, 2021.
- [Kruk2018] [KDSAMR18] KRUK, G., O. DA SILVA ALVES, L. MOLINARI und E. ROUX: *Best Practices for Efficient Development of JavaFX Applications*. In: *Proc. of International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems (ICALEPCS'17), Barcelona, Spain, 8-13 October 2017*, Nummer 16 in *International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems*, Seiten 1078–1083, Geneva, Switzerland, Jan. 2018. JACoW.
- [Kuleshov2007] [Kul07] KULESHOV, EUGENE: *Using the ASM framework to implement common Java bytecode transformation patterns*. 01 2007.
- [Li2017] [LTX17] LI, YUE, TIAN TAN und JINGLING XUE: *Understanding and Analyzing Java Reflection*. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, 28, 2017.
- [?Mancini?] [MHM] MANCINI, FEDERICO, DAG HOVLAND und KHALID A. MUGHAL: *Investigating the limitations of Java annotations for input validation*.
- [Miroslav2009] [MJ09] MIROSLAV, SABO und PORUBÄN JAROSLAV: *Preserving Design Patterns using Source Code Annotations*. Journal of Computer Science and Control Systems, 2, 05 2009.
- [Meffert2006] [MP06] MEFFERT, KLAUS und ILKA PHILIPPOW: *Annotationen zur Anwendung beim Refactoring*, Oktober 2006.
- [Maier2010] [MRO10] MAIER, INGO, TIARK ROMPF und MARTIN ODERSKY: *Deprecating the Observer Pattern*. 01 2010.

- [Oracle2017][Ora17] ORACLE: *Java SE Specifications*. <https://docs.oracle.com/javase/specs/jls/se7/html/jls-9.html>, 2017. letzter Abruf: 26. Mai 2021.
- [Porubaen2009][PFS09] PORUBÄN, JAROSLAV, MICHAL FORGÁČ und MIROSLAV SABO: *Annotation based parser generator*. In: *2009 International Multiconference on Computer Science and Information Technology*, Seiten 707–714, 2009.
- [Premkumar2010?][PM10] PREMKUMAR, LAWRENCE und PRAVEEN MOHAN: *Introduction to JavaFX*, Seiten 9–31. Apress, Berkeley, CA, 2010.
- [Figula2015][PN15] FIGULA, PETER und MILAN NOSAL: *Unified compile-time and run-time java annotation processing*. In: *2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, Seite 965–975, 2015.
- [Reineke2005][Rei05] REINEKE, DETLEF: *Einführung in die Softwarelokalisierung*. Gunter Narr Verlag, 03 2005.
- [Rother2017][Rot17] ROTHER, KRISTIAN: *Static Typing in Python*, Seiten 231–244. Apress, Berkeley, CA, 2017.
- [Rocha2011][RV11] ROCHA, HENRIQUE und MARCO TULIO VALENTE: *How Annotations are Used in Java: An Empirical Study*. International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering, 2011.
- [Schildt2019][Sch19] SCHILDT, HERBERT: *Java: The complete reference*, Kapitel Enumerations, Autoboxing, and Annotations, Seiten 452–506. New York: McGraw-Hill Education, 2019.
- [Sharan2015][Sha15] SHARAN, KISHORI: *Learn JavaFX 8: Building User Experience and Interfaces with Java 8*. Apress, USA, 1st Auflage, 2015.
- [Salvaneschi2015][SMT15] SALVANESCHI, GUIDO, ALESSANDRO MARGARA und GIORDANO TAMBURRELLI: *Reactive Programming: A Walkthrough*. Seiten 953–954, 05 2015.
- [Sulir2016][SNP16] SULÍR, MATÚŠ, MILAN NOSÁL’ und JAROSLAV PORUBÄN: *Recording concerns in source code using annotations*. Computer Languages, Systems & Structures, 46:44–65, 2016.
- [Steyer2014][Ste14] STEYER, RALPH: *Behind the scene – der Aufbau von FXML*, Seiten 123–142. 06 2014.
- [Tratt2009][Tra09] TRATT, LAURENCE: *Dynamically Typed Languages*. Advances in Computers, 77:149–184, Juli 2009.

Vos2018][VCG<sup>+</sup>18] VOS, JOHAN, STEPHEN CHIN, WEIQI GAO, JAMES WEAVER und DEAN IVERSON: *Using Scene Builder to Create a User Interface*, Seiten 129–191. Apress, Berkeley, CA, 2018.

Rossum2014][vRLL14] ROSSUM, GUIDO VAN, JUKKA LEHTOSALO und ŁUKASZ LANGA: *Function Annotations*. PEP 484, 2014.

Winter2006][WL06] WINTER, COLLIN und TONY LOWNDS: *Function Annotations*. PEP 3107, 2006.

Yu2019][YBSM19] YU, ZHONGXING, CHENGGANG BAI, LIONEL SEINTURIER und MARTIN MONPERRUS: *Characterizing the Usage, Evolution and Impact of Java Annotations in Practice*. IEEE Transactions on Software Engineering, 2019.

Switch to newest JLS

Check unused sources

Fix url display line wrapping

crossref for @InBook to get valid booktitle

fix inconsistencies with author names

# Notes

<input type="checkbox"/>	Remove empty page . . . . .	V
<input type="checkbox"/>	Fix layouting: remove all newpage occurrences, fix space above and below figures, fix invalid spacing due to the overuse of the [H] figure float . . . . .	1
<input type="checkbox"/>	Intro . . . . .	3
<input type="checkbox"/>	Motivation . . . . .	3
<input type="checkbox"/>	Zielsetzung . . . . .	3
<input type="checkbox"/>	Struktur der Arbeit . . . . .	3
<input type="checkbox"/>	Bugfixing in tex code . . . . .	3
<input type="checkbox"/>	Correction . . . . .	5
<input type="checkbox"/>	urls in footnotes . . . . .	5
<input type="checkbox"/>	Move commented footnote to first occurrence (in intro) . . . . .	12
<input type="checkbox"/>	lst design . . . . .	13
<input type="checkbox"/>	use lstnewenvironment . . . . .	13
<input type="checkbox"/>	maybe add code example . . . . .	20
<input type="checkbox"/>	validate . . . . .	25
<input type="checkbox"/>	Maybe add . . . . .	29
<input type="checkbox"/>	Maybe move to implementation chapter . . . . .	38
<input type="checkbox"/>	Implementierung . . . . .	41
<input type="checkbox"/>	Architektur . . . . .	41
<input type="checkbox"/>	Extend . . . . .	41
<input type="checkbox"/>	Intro . . . . .	43
<input type="checkbox"/>	Entwicklung von Beispielsoftware . . . . .	43
<input type="checkbox"/>	Vergleich konventioneller Methoden mit entwickeltem System . . . . .	43
<input type="checkbox"/>	Intro . . . . .	45
<input type="checkbox"/>	Zusammenfassung . . . . .	45
<input type="checkbox"/>	Bewertung . . . . .	45
<input type="checkbox"/>	Ausblick und mögliche Erweiterungen . . . . .	45
<input type="checkbox"/>	Switch to newest JLS . . . . .	62
<input type="checkbox"/>	Check unused sources . . . . .	62
<input type="checkbox"/>	Fix url display line wrapping . . . . .	62
<input type="checkbox"/>	crossref for @InBook to get valid booktitle . . . . .	62
<input type="checkbox"/>	fix inconsistencies with author names . . . . .	62



