



Department für Informatik

Abteilung für Medieninformatik und Multimedia-Systeme

Bachelorarbeit

Annotationsbasierte Einstiegserleichterung in
die Entwicklung von JavaFX-Anwendungen

Deniz Groenhoff

18. 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 18. 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 ¹

¹Fussnote 1

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
1.1. Motivation	3
1.2. Zielsetzung	3
1.3. Struktur	3
2. Grundlagen	5
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
3. Stand der Technik	17
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
4. Konzeption und Entwurf	23
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

4.2. Anforderungsanalyse	27
4.2.1. Funktionale Anforderungen	28
4.2.2. Nichtfunktionale Anforderungen	32
4.3. Konzept und Modellierung	32
4.3.1. Designentscheidungen	32
4.3.2.	32
5. Implementierung	33
5.1. Architektur	33
5.1.1.	33
5.2.	33
6. Evaluation	35
6.1. Entwicklung von Beispielsoftware	35
6.2. Vergleich konventioneller Methoden mit entwickeltem System	35
7. Fazit	37
7.1. Zusammenfassung	37
7.2. Bewertung	37
7.3. Ausblick und mögliche Erweiterungen	37
A. Controllerbasierte JavaFX-Anwendung	39
Abkürzungsverzeichnis	43
Quellcodeverzeichnis	45
Abbildungsverzeichnis	47
Tabellenverzeichnis	49
Literaturverzeichnis	51

Fix layouting: remove all
newpage occurrences,
fix space above and be-
low figures, fix invalid
spacing due to the over-
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

Correction

urls in footnotes

`?(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-

`?(acro:xml)?` Sprache erläutert.

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 Quelltextausschnitte¹ 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].

¹Die 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.

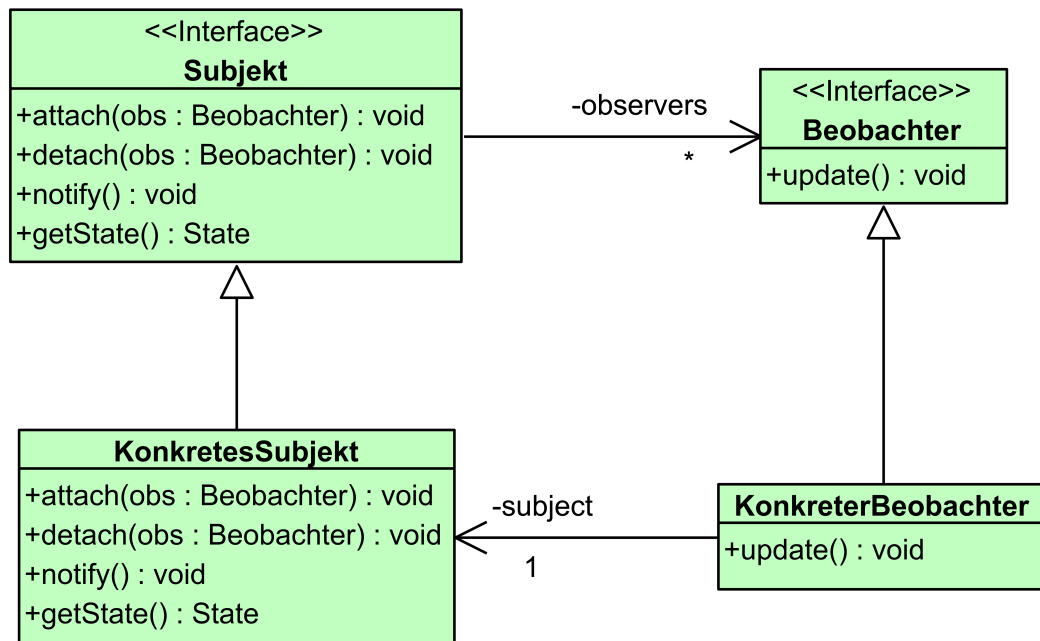


Abbildung 2.1.: UML-Diagramm – Beobachter-Entwurfsmuster

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 Entwurfsmuster² 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.

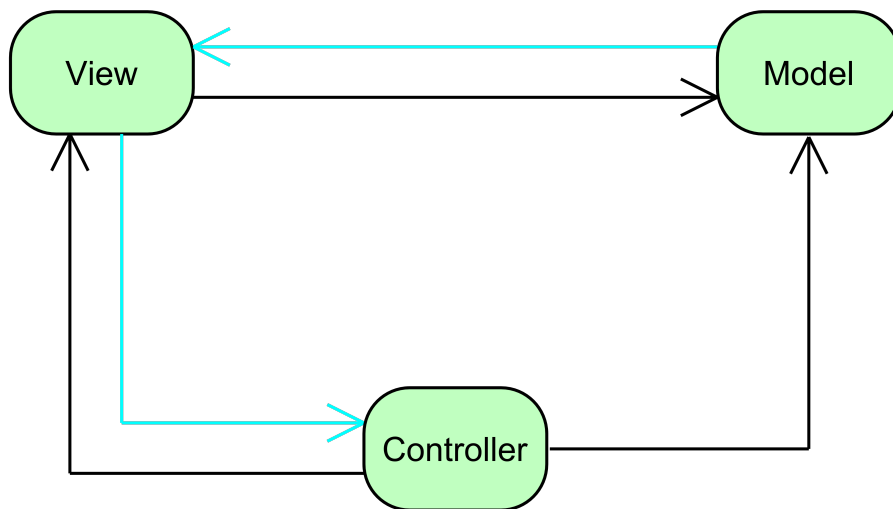


Abbildung 2.2.: Diagramm – MVC-Entwurfsmuster: Die blauen Pfeile stellen indirekte Beziehungen dar, welche meist durch die Nutzung eines Eventsystems auf Basis des Beobachter Musters implementiert werden.

fig:mvc_pattern)?

Die vom MVC Muster klassische Struktur³ 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

²Je 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.

³In 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.

Dazu ist JavaFX auch weitgehend konform mit bekannten Entwurfsmustern der Softwareentwicklung wie beispielsweise dem MVC⁴- oder dem Beobachter-Muster, weshalb implementierte Anwendung selbst bei vielen Lines of Code (LoC), eine

?{acro:loc}?

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⁺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 Begriffe 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,

⁴Die 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⁺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();
    }
}
```

Einstiegspunkt

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 & 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⁺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`⁵ 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

⁵Google `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 Maven⁶ verhindert werden und die Quelltextgeneration kann durch externe Bibliotheken wie JavaPoet⁷ deutlich erleichtert werden. Damit bereits vorhandene Klassen modifiziert oder erweitert werden können, muss eine Form der Bytecode Manipulation genutzt werden. Dazu kann beispielsweise die ASM⁸ 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.

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

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

⁸ASM: <https://asm.ow2.io>

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⁺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)?interface Test { default void t(int... i) {} }</pre>	<pre>?{lst:decl_interface)?class TestClass implements Test { @Override public void t(int i) {} }</pre> <div style="position: relative; height: 40px;"> <div style="position: absolute; top: 0; right: 0; border: 1px solid black; padding: 2px; font-size: small;">Kompilierfehler</div> <div style="position: absolute; top: 10px; left: 10px; color: red; font-size: x-small;">→</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 Lombok¹ 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 Android² 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`³ 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.

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

²Android: <https://www.android.com>

³Support-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 9⁴ bietet verschiedene Bibliotheken, welche mithilfe von Annotationen verschiedene Prozesse erleichtern können. Beispielsweise existiert die Jakarta XML Binding (JAXB) ^{?(acro:jaxb)?} 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> <?xml version="1.0"?> <Cat id="1"> <color>Brown</color> <age>4</age> </Cat> </pre>	<pre> ?{lst:example_java)? @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.

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

3.1.3. JavaFX Umgebung

`_umfeld_von_java_fx)?` 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`⁵ entwickelt, welche durch `@Inject`, das Inversion of Control (IoC) Programmierparadigma durch Abhängigkeitsinjektion realisiert oder das von CERN entwickelte `ExtJFX`⁶, welches `@RunInFxThread` nutzt, um Unittests auf dem JavaFX-Thread auszuführen.

3.2. Annotationen in anderen Programmiersprachen

`_in_anderen_sprachen)?` 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

`_erwendung_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_sharp_dot_net)?` In C# wird das Hinzufügen von Meta-Informationen zu bestehenden Programmenelementen 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.

`?{acro:dll)?`

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

`<ft:afterburner>` ⁶ExtJFX: <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

?_(ms_fazit)?

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 JUnit⁷ 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.

⁷JUnit 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 hardcodierte 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><!-- FXML Datei --> <Label text="%login.username"/></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.fx⁵ hinzugefügt werden. Eine Unterstützung von etablierten externen Bibliotheken zur Realisierung des Abhängigkeitsinjektionsmusters wie Spring¹, Dagger² oder Guice³ 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.

¹Spring: <https://spring.io>

²Dagger: <https://dagger.dev>

³Guice: <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 Android⁴, 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.

4.2. Anforderungsanalyse

derungsanalyse)? 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 [FA##] Prefix, wobei ## 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 [OA##] Prefix, wobei ## durch die jeweilige Anforderungsnummer substituiert wird.

format of requirements

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

4.2.1. Funktionale Anforderungen

`sanalyse_funktional}`? Im Folgenden werden alle funktionalen Anforderungen definiert. Sie beschreiben alle gewünschten Funktionen des Endproduktes.

`?(fa1)?` [FA01] 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.

`?(fa2)?` [FA02] 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

`?(fa3)?` [FA03] 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.

[FA04] Abhängigkeitsinjektion durch etablierte externe Bibliotheken

?<fa4>?

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.

[FA05] Automatische CSS Metadaten Generation

?<fa5>?

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.

[FA06] Annotationsbasierte Controllerdefinition**?(<fa6>)?**

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.

[FA07] Erweiterung des Controllerlebenszyklus**?(<fa7>)?**

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 Instanziierungen 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.

[FA08] Unterstützung von mehreren Lebenszyklusbehandlungsmethoden**?(<fa8>)?**

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.

[FA09] Controllerverschachtelung und Supercontroller**?(<fa9>)?**

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.

[FA10] Gruppierung von ähnlichen Controllern

?<fa10>?

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.

[OA01] Annotationsvalidierung zur Kompilierzeit?(**oa1**)?

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 Kompilervorgang entdeckt und dem Entwickler mitgeteilt.

4.2.2. Nichtfunktionale Anforderungen

yse_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.

[FA11] Sicherstellung der Plattformunabhängigkeit?(**fa11**)?**4.3. Konzept und Modellierung**

pt_und_modellierung)?

SONNTAG FERTIG

Intro

4.3.1. Designentscheidungen

esignentscheidungen)?

4.3.2. ...

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

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

Abbildungsverzeichnis

2.1. UML-Diagramm – Beobachter-Entwurfsmuster	6
2.2. Diagramm – MVC-Entwurfsmuster	7

Tabellenverzeichnis

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⁺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⁺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⁺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 (ICALPCS'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 TULLIO 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⁺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

Remove empty page	V
Fix layouting: remove all newpage occurences, fix space above and below figures, fix invalid spacing due to the overuse of the [H] figure float	1
Intro	3
Motivation	3
Zielsetzung	3
Struktur der Arbeit	3
Bugfixing in tex code	3
Correction	5
urls in footnotes	5
Move commented footnote to first occurence (in intro)	12
lst design	13
use lstnewenvironment	13
maybe add code example	20
validate	25
format of requirements	27
Maybe add	28
SONNTAG FERTIG	32
Intro	32
Implementierung	33
Architektur	33
Extend	33
Intro	35
Entwicklung von Beispielsoftware	35
Vergleich konventioneller Methoden mit entwickeltem System	35
Intro	37
Zusammenfassung	37
Bewertung	37
Ausblick und mögliche Erweiterungen	37
Switch to newest JLS	54
Check unused sources	54
Fix url display line wrapping	54
crossref for @InBook to get valid booktitle	54
fix inconsistencies with author names	54

