



TESTAUTOMATISIERUNG MIT SELENIUM

- TEILAUTOMATISIERTE GENERIERUNG VON PAGE OBJECTS -

Fakultät für Informatik und Mathematik
der Hochschule München

Masterarbeit

vorgelegt von

Matthias Karl

Matrikel-Nr: 03280712

im <Datum>

Prüfer: Prof. Dr. Ullrich Hafner

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Studienarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst zu haben. Sowohl inhaltlich als auch wörtlich entnommene Inhalte wurden als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in dieser oder vergleichbarer Form noch keinem anderem Prüfungsgremium vorgelegen.

Datum: _____ Unterschrift: _____

Zusammenfassung / Abstract

Diese Arbeit befasst sich mit dem Themenschwerpunkt Testautomatisierung. Zu Beginn werden zunächst die Grundlagen im Bereich der Software-Qualität und dem Testen im allgemeinen geschaffen, um dann einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten der Testautomatisierung vorzustellen. Anhand der geschaffenen Grundlagen wird das Testautomatisierungstool Selenium vorgestellt. Hierbei liegt ein besonderes Augenmerk auf dem Page Object Design Pattern. Bezüglich des Page Object Design Pattern wird eine selbst erstellte Software-Lösung vorgestellt, welche die Verwendung dieses Pattern durch eine teilautomatisierte Generierung von Page Object-Klassen vereinfachen soll.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	I
Zusammenfassung / Abstract	II
1. Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Roadmap	2
2. Grundlagen	3
2.1. Software-Qualität	3
2.2. Softwaretest	4
2.3. Testautomatisierung	6
2.4. Testprozess	7
2.4.1. Testplanung und Steuerung	8
2.4.2. Testanalyse und Testdesign	9
2.4.3. Testrealisierung und Testdurchführung	9
2.4.4. Testauswertung und Bericht	10
2.4.5. Abschluss der Testaktivitäten	10
2.5. Vorgehensmodelle	11
2.5.1. Klassische Entwicklungsmodelle	12
2.5.2. Iterative und agile Entwicklungsmodelle	13
3. Testautomatisierung	16
3.1. Warum Testautomatisierung	16
3.1.1. Verringerung des Testaufwands und Reduzierung des Zeitplans	18
3.1.2. Verbesserung der Testqualität und Testtiefe	18
3.1.3. Kosten als Bewertungsgrundlage für die Testautomatisierung	19
3.1.4. Probleme der Testautomatisierung	21
3.2. Möglichkeiten der Testautomatisierung im Testprozess	23
3.2.1. Testdesign	23

3.2.2.	Testcodeerstellung	27
3.2.3.	Testdurchführung	31
3.2.4.	Testauswertung	31
4.	Testautomatisierung mit Selenium	33
4.1.	Selenium	33
4.2.	Testdurchführung mit Selenium	35
4.3.	Testcodeerstellung mit Selenium	36
4.3.1.	Record-and-playback	36
4.3.2.	Manuell	39
4.3.3.	Page Object Pattern	39
5.	Teilautomatisierte Generierung von Page Objects	44
5.1.	Übersicht über die Idee	44
5.2.	Abgrenzung zu bestehenden Ansätzen	46
5.3.	SeleniPo - Page Object Generator	49
5.3.1.	Einordnung des Page Object Generator in den Gesamtkontext	52
5.3.2.	Beispielhafter Ablauf bei der Benutzung des Page Object Generator	54
5.3.3.	Anwendungsfälle des Page Object Generator	55
5.3.4.	Aufbau und technische Aspekte der Anwendung	56
5.4.	Praxistest	66
6.	Fazit	68
6.1.	Ausblick	69
A.	Anhang	70
A.1.	Anwendungsfallbeschreibung	70
A.1.1.	Neues Page Object anlegen	70
A.1.2.	Neues Element hinzufügen	71
A.1.3.	Neue Transition hinzufügen	72
A.1.4.	Element aus HTML übernehmen	73
A.1.5.	Transition aus HTML übernehmen	74
A.1.6.	Vorhandenen Eintrag editieren	76
A.1.7.	Vorhandenen Eintrag löschen	77
A.1.8.	Vorhandenen Eintrag testen	78
A.1.9.	Laden eines vorhandenen Modells	78

A.1.10. Speichern eines vorhandenen Modells	79
A.1.11. Page Objects generieren	80
A.2. Zustände des Page Object Generator	81
A.3. Vollständiges technisches Modell	82
A.4. Beispiel für ein Velocity Template	83

Abbildungsverzeichnis

2.1. Qualitätsmerkmale von Softwaresystemen (ISO 25010)	4
2.2. Übersicht über das Gebiet der Software-Qualitätssicherung	5
2.3. Verschiedene Ausprägungen klassischer Entwicklungsmodelle	12
2.4. Verschiedene Ausprägungen iterativer und agiler Entwicklungsmodelle	14
3.1. Grenzen und Möglichkeiten der Testautomatisierung	17
3.2. Break-even Punkt für Testautomatisierung	22
3.3. Code-basierte Generierung von Testfällen	26
3.4. Interface-basierte Generierung von Testfällen	27
3.5. Spezifikations-basierte Generierung von Testfällen	28
3.6. Verschiedene Möglichkeiten der Testcodeerstellung	29
4.1. Einordnung von Selenium in die verschiedenen Möglichkeiten der Testcodeer- stellung	34
4.2. Anlegen, editieren und anzeigen eines neuen Datensatzes	37
5.1. SeleniPo - Page Object Generator	49
5.2. SeleniPo - Page Object Generator - Page Object Model	50
5.3. SeleniPo - Page Object Generator - Html Parser	51
5.4. SeleniPo - Page Object Generator - Menü	52
5.5. Einordnung des Page Object Generator in die Deploymentsicht	53
5.6. Beispielhafter Ablauf bei der Benutzung des Page Object Generator	55
5.7. Anwendungsfälle des Page Object Generator	56
5.8. Module des Page Object Generators	57
5.9. Vereinfachte Struktur des internen Modells des Page Object Generators . . .	58
5.10. Services die von SeleniPoConverter bereitgestellt werden	59
5.11. Services die von SeleniPoHtmlParser bereitgestellt werden	60
5.12. Services die von SeleniPoHtmlParser bereitgestellt werden	62

5.13. Abhängigkeit zwischen dem generierten und dem dynamischen Teil eines Page Objects	63
5.14. Erzeugen der Paket-Struktur eines Page Object	63
5.15. Page Object Struktur des Testharness	65
A.1. Zustandsmodell des SeleniPoEditor	81
A.2. Zuordnung der in Abbildung A.1 verwendeten Namen	81
A.3. Vollständiges technisches Modell des Page Object Generator	82

Tabellenverzeichnis

3.1. Verringerung des Testaufwands und Reduzierung des Zeitplans nach Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 9 ff.]	19
3.2. Verbesserung der Testqualität und Testtiefe nach Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 9 ff.]	20
3.3. Probleme der Testautomatisierung nach Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 10 ff.]	24

1. Einleitung

Software hat in der heutigen Zeit für Unternehmen und jeden einzelnen gleichermaßen an immer größer Bedeutung gewonnen. Die Komplexität der Softwareprodukte steigt ständig weiter an. Neben der steigenden Komplexität sind auch die Anforderungen an die Qualität der Software immer weiter gewachsen. Das hat zur Folge, dass bei der Entwicklung von Software, ein immer größeres Augenmerk auf den Bereich des Testens gelegt wird. Um den steigenden Anforderungen an Software und Qualität bezüglich des Testens gerecht zu werden, wird häufig die Testautomatisierung als möglicher Lösungsweg vorgeschlagen. Durch den Einsatz von Testautomatisierung verspricht man sich Vorteile beim testen von Softwarelösungen. Diese Vorteile sollen vor allem über eine Effektivitäts- und Effizienzsteigerung erreicht werden.

Eine Vielzahl an Softwarelösungen werden heutzutage in Form von Webanwendungen umgesetzt. Um diese automatisiert zu Testen, wird oft auf Testfälle zurückgegriffen, die automatisch Eingaben auf der Oberfläche der Anwendung tätigen, um anschließend das Verhalten der Anwendung zu überprüfen. Ein gängiges Tool, mit welchem diese Form der Testfälle umgesetzt werden kann, ist Selenium [Sel15a].

1.1. Motivation

Testautomatisierung hat oft das Problem, dass Testfälle zwar wiederholt und einfach ausgeführt werden können, der initiale Mehraufwand bei der Erstellung der Testfälle ist jedoch häufig so hoch, dass er die erreichten Vorteile schnell wieder zu Nichte machen kann. Ein möglicher Weg um Verbesserungen in der Testautomatisierung zu erzielen ist es daher, diesen Mehraufwand möglichst gering zu halten. Testfälle die mit Hilfe des Selenium WebDriver entwickelt werden, leiden häufig unter eben dieser Schwierigkeit. Die initiale Erstellung der Tests ist in der Regel sehr aufwändig. Um die Testfälle möglichst wartbar zu halten wird bei der Verwendung des WebDrivers ein bestimmtes Design Pattern verwendet, das Page Object Pattern. Teil dieses Pattern ist es, eine Vielzahl von sogenannten Page Objects zu erstellen,

welche die einzelnen Seiten einer Webanwendung repräsentieren.

In Hinblick auf den initialen Mehraufwand bei automatisierten Testfällen bietet die Erstellung dieser Page Object-Klassen großes Einsparungspotential, da sie auf Grund ihrer generischen Struktur die Möglichkeit bieten, automatisch erzeugt zu werden. In Zusammenarbeit mit dem IT-Dienstleister der Landeshauptstadt München (it@M) soll daher eine Software entwickelt werden, mit deren Hilfe die Erstellung der Page Object-Klassen vereinfacht werden kann.

1.2. Roadmap

Der Hauptteil dieser Arbeit gliedert sich in vier Kapitel. In Kapitel 2 werden zunächst die Grundlagen in den Bereichen der Software-Qualität, dem Testen im Allgemeinen und der Testautomatisierung im speziellen gelegt. Kapitel 3 geht dann näher auf die Testautomatisierung ein und soll einen Überblick über die verschiedenen Bereiche und Möglichkeiten geben, welche die Testautomatisierung bietet. In Kapitel 4.1 wird das Testautomatisierungstool Selenium vorgestellt und in diesem Zusammenhang das Page Object Pattern erläutert. Abschließend soll in Kapitel 5 eine Softwarelösung vorgestellt und umgesetzt werden, mit deren Hilfe die Verwendung des Page Object Pattern unterstützt werden kann.

2. Grundlagen

2.1. Software-Qualität

Nahezu jeder Programmierer ist schon einmal mit dem Begriff der Software-Qualität in Berührung gekommen. Diesen Qualitätsbegriff jedoch genau zu erfassen, erweist sich als schwierig. Die DIN-ISO-Norm 9126 definiert Software-Qualität wie folgt:

„Software-Qualität ist die Gesamtheit der Merkmale und Merkmalswerte eines Software-Produkts, die sich auf dessen Eignung beziehen, festgelegte Erfordernisse zu erfüllen.“ [ISO01] Heute ist die DIN-ISO-Norm 9126 von der DIN-ISO-Norm 25010 [ISO11] abgelöst worden. Die Definition der neuen Norm, unter Punkt 4.3.13, unterscheidet sich von der alten Definition vor allem darin, dass nun die Erfüllung von Benutzerbedürfnissen und nicht mehr die Erfüllung von Erfordernissen im Vordergrund steht.

Folgt man der Analyse von Hoffmann [Hof13, vgl. S.6 ff.] wird deutlich, dass es sich bei dem Begriff der Software-Qualität um eine multikausale Größe handelt. Das bedeutet, dass zur Bestimmung der Qualität einer Software nicht ein einzelnes Kriterium existiert. Vielmehr verbergen sich hinter dem Begriff eine ganze Reihe verschiedener Kriterien, die je nach den gestellten Anforderungen in ihrer Relevanz variieren. Sammlungen solcher Kriterien werden in sogenannten Qualitätsmodellen zusammengefasst. Die DIN-ISO-Norm 25010 [ISO11] bietet ein solches Qualitätsmodell und definiert damit eine Reihe von wesentlichen Merkmalen, die für die Beurteilung der Software-Qualität eine Rolle spielen. Die Merkmale der DIN-ISO-Norm 25010 [ISO11] sind in Abbildung 2.1 zusammengefasst. Eine nähere Definition der einzelnen Begriffe des Qualitätsmodells kann beispielsweise dem Buch Software-Qualität von Dirk W. Hoffmann [Hof13, S.7 ff.] entnommen werden.

Um die Qualität einer Software zu steigern, bietet die moderne Software-Qualitätssicherung laut Hofmann [Hof13, vgl. S.19 ff.] eine Vielzahl von Methoden und Techniken: Ein Teil der Methoden versucht durch eine Verbesserung des Prozesses der Produkterstellung die Entstehung von qualitativ hochwertigen Produkten zu begünstigen. Diese Methoden fallen in den Bereich der Prozessqualität. Einen weiteren Bereich bilden die Methoden die zur Verbesserung der Produktqualität dienen. Bei diesen Methoden wird das Softwareprodukt direkt

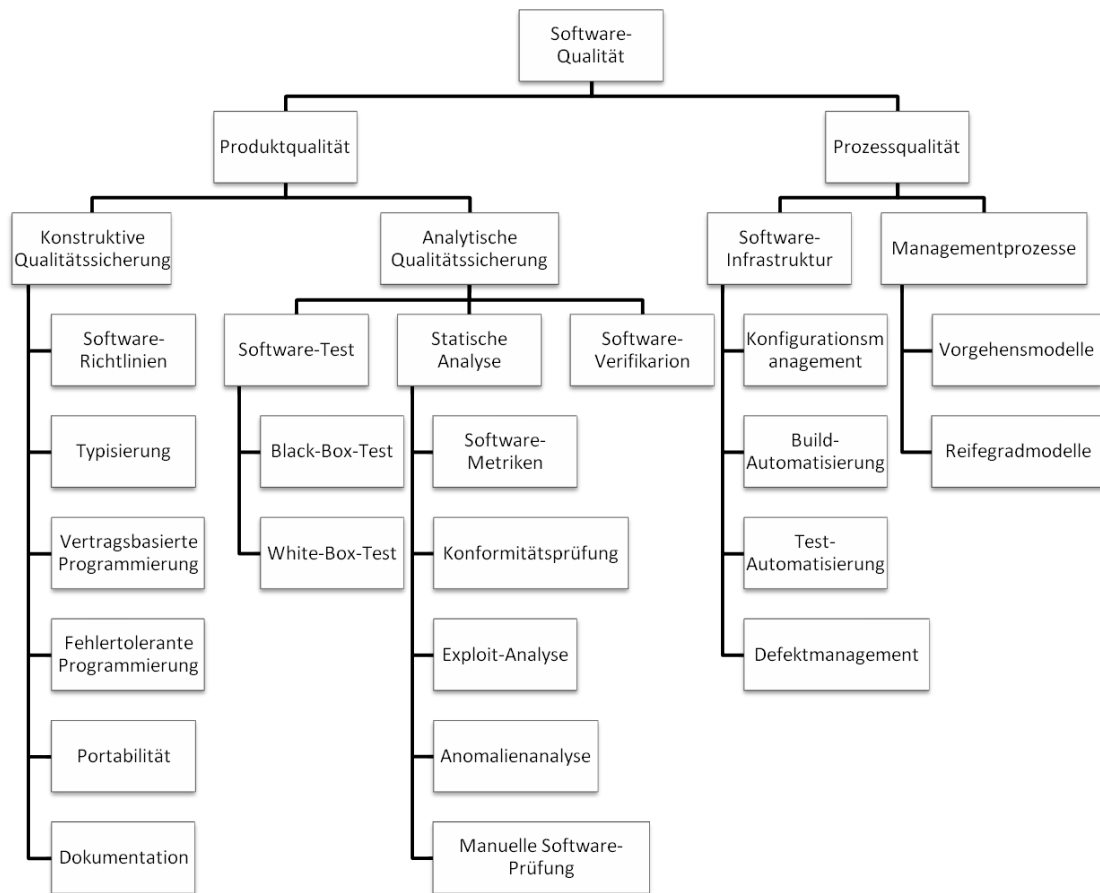


Abbildung 2.1.: Qualitätsmerkmale von Softwaresystemen (ISO 25010)

bezüglich der Qualitätsmerkmale überprüft. Dieser Bereich unterteilt sich in die konstruktive und analytische Qualitätssicherung. Unter konstruktiver Qualitätssicherung versteht man den Einsatz von z.B. Methoden, Werkzeugen oder Standards die dafür sorgen, dass ein Produkt bestimmte Forderungen erfüllt. Unter analytischer Qualitätssicherung versteht man den Einsatz von analysierenden bzw. prüfenden Verfahren, die Aussagen über die Qualität eines Produkts machen. In diesem Bereich der Qualitätssicherung befindet sich unter anderem der klassische Software-Test. Eine Übersicht über das gesamte Gebiet der Software-Qualitätssicherung, wie es sich uns gegenwärtig darstellt, ist in Abbildung 2.2 dargestellt.

2.2. Softwaretest

Im Laufe der Zeit wurden viele Versuche unternommen um die Qualität von Software zu steigern. Besondere Bedeutung hat dabei der Software-Test erlangt. Der IEEE Std 610.12 definiert den Begriff Test als das Ausführen einer Software unter bestimmten Bedingungen mit dem Ziel, die erhaltenen Ergebnisse auszuwerten, also gegen erwartete Werte zu vergleichen. (Im Original: „An activity in which a system or component is executed under specific



Quelle: [Hof13, vgl. S.20]

Abbildung 2.2.: Übersicht über das Gebiet der Software-Qualitätssicherung

conditions, the results are observed or recorded, and an evaluation is made of some aspect of the system or component.“ [IEE91])

Bereits zu Beginn der Softwareentwicklung hat man versucht Programme vor ihrer Auslieferung zu testen. Der dabei erzielte Erfolg entsprach nicht immer den Erwartungen. Im Laufe der Jahre wurde das Testen daher auf eine immer breitere Grundlage gestellt. Es entwickelten sich Unterteilungen des Software-Tests die bis heute Bestand haben. Thaller [Tha02, vgl. S.18] nennt hier beispielsweise:

- White-Box-Test
- Black-Box-Test und externe Testgruppe
- Volume Test, Stress Test und Test auf Systemebene

Jeder dieser Begriffe beschreibt bestimmte Techniken, die bei konsequenter Anwendung dazu führen können, Fehler in Softwareprodukten zu identifizieren.

Nach Hoffmann [Hof13, vgl. S.22] spielt neben der Auswahl der richtigen Techniken für ein bestimmtes Problem in der Praxis die Testkonstruktion eine zentrale Rolle. Bereits für kleine Programme ist es faktisch nicht mehr möglich das Verhalten einer Software für alle möglichen Eingaben zu überprüfen. Es muss sich daher immer auf eine vergleichsweise geringe Auswahl an Testfällen beschränkt werden. Testfälle unterscheiden sich jedoch stark in ihrer Relevanz. Die Auswahl der Testfälle hat daher einen großen Einfluss auf die Anzahl der gefundenen Fehler und damit auch auf die Qualität des Endprodukts.

Laut Hofmann [Hof13, vgl. S.22] ist der Software-Test eines der am meisten verbreiteten Techniken zur Verbesserung der Software-Qualität. Um über lange Sicht gute Software zu produzieren reicht es jedoch nicht aus, sich nur auf eine Technik der Software-Qualitätssicherung zu stützen. Ein großer Nachteil des Software-Tests ist laut Thaller [Tha02, vgl. S.18], dass Fehler erst in einer relativ späten Phase der Entwicklung identifiziert werden. Je später eine Fehler jedoch erkannt wird, desto teurer wird auch seine Beseitigung. Abbildung 2.2 zeigt, dass der Software-Test nur eine von vielen Techniken des Qualitätsmanagement darstellt. Um eine möglichst qualitativ hochwertige Software zu erhalten, ist es daher ratsam, sich bei der Qualitätssicherung möglichst breit aufzustellen und sich nicht nur auf die analytische Qualitätssicherung in Form des Software-Tests zu verlassen.

2.3. Testautomatisierung

Das Testen von Software macht in heutigen Projekten einen großen Teil der Projektkosten aus. So sprechen beispielsweise Harrold [Har00] und auch Ramler [RW06] davon, dass das Testen für 50% und mehr der gesamten Projektkosten verantwortlich sein kann. Mit steigender Komplexität der Software müssen, um eine konstante Qualität der Software zu gewährleisten, immer höhere Ausgaben für das Testen getätigt werden. Um diese Kosten zu reduzieren, haben sich im Laufe der Zeit die bestehenden Testmethoden immer weiter entwickelt und auch neue Ansätze herausgebildet. Harrold [Har00] beschreibt als einen Ansatz, Software-Tests möglichst automatisiert durchzuführen. Diesen Ansatz fasst man mit dem Begriff Testautomatisierung zusammen. Seidl et al. [Sei12, S.7] definieren Testautomatisierung als „die Durchführung von ansonsten manuellen Testtätigkeiten durch Automaten.“ Diese Definition zeigt, dass das Spektrum der Testautomatisierung breit gefächert ist. Testautomatisierung beschränkt sich nicht nur auf das automatisierte durchführen von Testfällen sondern erstreckt sich über alle Bereiche des Software-Test. Die verschiedenen Möglichkeiten

der Testautomatisierung werden in Kapitel 3.2 dargestellt. Aus Sicht des Qualitätsmanagements ist die Testautomatisierung sowohl den Methoden zur Steigerung der Produktqualität als auch der Prozessqualität zugeordnet. Ein automatisierter Software-Test hat immer noch den selben Charakter wie ein manueller Software-Test und ist daher ein Teil der analytischen Qualitätssicherung. Allerdings erfordert Testautomatisierung laut Hoffmann [Hof13, vgl. Seite 25] auch immer infrastrukturelle Anpassungen. Automatisierte Testfälle benötigen in der Regel eine Besondere Software-Infrastruktur, wie etwa ein Automatisierungsframework. Solche Maßnahmen, die den Programmentwickler aus technischer Sicht in die Lage versetzen, seiner täglichen Arbeit in geregelter und vor allem produktiver Weise nachzugehen, werden den Methoden zur Verbesserung der Prozessqualität zugeordnet. (siehe Abbildung 2.2).

2.4. Testprozess

Um Software-Tests effektiv und strukturiert durchzuführen, wird eine feiner Ablaufplan für die einzelnen Testaufgaben benötigt. Diesen Ablaufplan fassen Splinner und Linz [SL07] im fundamentalen Testprozess zusammen. Die einzelnen Arbeitsschritte, die im Lebenszyklus eines Software-Tests anfallen, werden dabei verschiedenen Phasen zugeordnet. Durch den Testprozess wird die Aufgabe des Testens in kleinere Testaufgaben untergliedert.

Testaufgaben, die Splinner und Linz [SL07] dabei unterscheiden sind:

- Testplanung und Steuerung
- Testanalyse und Testdesign
- Testrealisierung und Testdurchführung
- Testauswertung und Bericht
- Abschluss der Testaktivitäten

„Wer strukturiert testet, wird, unabhängig vom jeweiligen Vorgehen, diese Aktivitäten auf die eine oder andere Weise abbilden.“ [Sei12, S. 9]

„Obgleich die Aufgaben in sequenzieller Reihenfolge im Testprozess angegeben sind, können sie sich überschneiden und teilweise auch gleichzeitig durchgeführt werden.“ [SL07, S.19]

Auf Grundlage des fundamentalen Testprozesses nach Splinner und Linz [SL07, S.20ff] werden im folgenden diese Teilaufgaben näher beschrieben. Diese Beschreibung wird durch Ausführungen von Seidl et al. [Sei12, S. 9 ff.], vor allem bezüglich der Testautomatisierung, erweitert.

2.4.1. Testplanung und Steuerung

Um dem Umfang und der Komplexität heutiger Software-Tests gerecht zu werden, benötigt man zu Beginn des Testprozesses eine genaue Planung. Ziel dieser Planung ist es, den Rahmen für die weiteren Testaktivitäten festzulegen. Die Aufgaben und die Zielsetzungen der Tests müssen ermittelt werden. Eine Ressourcenplanung wird benötigt und eine geeignete Teststrategie muss ermittelt werden. In Kapitel 2.2 wurde bereits erwähnt, dass das vollständige Testen einer Anwendung in der Regel nicht möglich ist. Die einzelnen Systemteile müssen daher nach Schwere der zu erwartenden Fehlerwirkung priorisiert werden. Um so schwerwiegender die zu erwartende Fehlerwirkung ist, um so intensiver muss der betrachtete Systemteil auch getestet werden. Ziel der Teststrategie ist also „die optimale Verteilung der Tests auf die »richtigen« Stellen des Softwaresystems.“ [SL07, S.21]

Steht das Softwareprojekt unter einem hohen Zeitdruck, müssen Testfälle zusätzlich Priorisiert werden. Um zu verhindern, dass das Testen zu einem endlosen Prozess wird, werden geeignete Testendkriterien festgelegt. Anhand dieser Kriterien kann später entschieden werden ob der Testprozess abgeschlossen werden kann.

Bereits zu Beginn des Testprozesses werden auch wichtige Grundsteine für eine spätere Testautomatisierung gelegt. Es muss entschieden werden, in welchen Teststufen und Testbereichen eine Automatisierung eingesetzt werden soll. Vor allem ist die Frage zu klären, ob und in welchem Ausmaß eine Automatisierung überhaupt sinnvoll ist. Es kann durchaus vorkommen, dass eine Analyse ergibt, dass eine Testautomatisierung für ein Projekt unwirtschaftlich ist. Entscheidet man sich für eine Testautomatisierung, hat das in der Regel große Auswirkung auf die einzusetzenden Ressourcen und die zeitliche Planung und Aufwandschätzung. Oftmals wird im Rahmen der Tests eine besondere Werkzeugunterstützung oder Infrastruktur benötigt. Derartige Punkte müssen auch bereits in der frühen Planungsphase berücksichtigt werden.

Die gesamten erarbeiteten Rahmenbedingungen werden in einem Testkonzept dokumentiert. Eine mögliche Vorlage für dieses Dokument bietet die internationale Norm IEEE 829-2008 [IEE08]. Neben der frühzeitigen Planung der Tests muss während des gesamten Testprozesses eine Steuerung erfolgen. Hierfür werden die Ergebnisse und Fortschritte der Tests und des Projekts laufend erhoben, geprüft und bewertet. Werden Probleme erkannt, kann so rechtzeitig gegengesteuert werden.

2.4.2. Testanalyse und Testdesign

In dieser Phase wird zunächst die Qualität der Testbasis überprüft. Alle Dokumente die für die Erstellung der Testfälle benötigt werden, müssen in ausreichendem Detailgrad vorhanden sein. Mit Hilfe der qualitätsgesicherten Dokumente kann die eigentliche Testfallerstellung beginnen. Anhand der Informationen aus dem Testkonzept und den Spezifikationen werden mittels strukturierter Testfallerstellungsmethoden logische Testfälle erstellt. Diese logischen Testfälle können dann in einer späteren Phase konkretisiert werden, indem ihnen z.B. tatsächliche Eingabewerte zugeordnet werden. Für jeden dieser Testfälle müssen die möglichen Rand- und Vorbedingungen so wie ein erwartetes Ergebnis bestimmt werden.

In dieser Phase beginnt auch die Umsetzung der Testfälle in der Testautomatisierung. Abgestimmt auf die ausgewählten Automatisierungswerkzeuge und die zu testende Software, muss die Umgebung für die Testautomatisierung vorbereitet werden. Anhand der Vorgaben des Testkonzeptes können dann jene Testfälle und Testabläufe ausgewählt werden, die im Zuge der Testautomatisierung implementiert werden sollen. Hierbei wird noch einmal die technische Umsetzbarkeit der ausgewählten Testfälle geprüft. Bei der Auswahl der Testfälle sollte zu Beginn eine möglichst breite Testabdeckung angestrebt werden. Problemfelder können dann später durch weitere Testfälle in in der Tiefe getestet werden.

2.4.3. Testrealisierung und Testdurchführung

In diesem Schritt des Testprozesses werden aus den logischen Testfällen der vorangegangenen Phase konkrete Testfälle gebildet. Diese Testfälle werden anhand ihrer fachlichen und technischen Zusammengehörigkeit zu Testszenarien gruppiert und anhand der Vorgaben aus dem Testkonzept priorisiert. Sobald die zu testende Software zur Verfügung steht, kann mit der Abarbeitung der Testfälle begonnen werden. Die dabei erhaltenen Ergebnisse werden vollständig protokolliert. Werden im Zuge der Durchführung Fehler aufgedeckt, muss darauf in geeigneter Weise reagiert werden. Es könnte beispielsweise ein zuvor definierter Fehlerprozess gestartet werden. Korrekturen und nachgehende Veränderungen am Testobjekt werden durch eine Wiederholung der Testläufe abgedeckt.

Aus Sicht der Testautomatisierung beginnt in dieser Phase die technische Umsetzung der Testfälle. In vielen Fällen bedeutet das Programmierarbeit. Diese Programmierarbeiten sind wiederum anfällig für eigene Fehler und müssen daher in angemessener Weise selbst qualitätsgesichert werden. Auch bei der Testautomatisierung ist eine Zusammenfassung von Testfällen sinnvoll. Auf diese Weise kann man funktionalen und logischen Abhängigkeiten zwischen den Testfällen gerecht werden. Nach der Implementierung können die geplanten

Testfälle durchgeführt werden. Gerade bei der Automatisierung ist eine genaue Protokollierung der Ergebnisse besonders wichtig. Nur dadurch ist es später möglich, aufgetretene Fehler überhaupt zu lokalisieren.

2.4.4. Testauswertung und Bericht

In dieser Phase des Prozesses wird geprüft, ob die im Testkonzept definierten Testendekriterien erreicht wurden. Sind alle Forderungen erfüllt, kann es zu einem Abschluss der Testaktivitäten kommen. Kommt es zu Abweichungen im Bezug auf diese Kriterien, muss darauf entsprechend reagiert werden. Es können Fehlerkorrekturen durchgeführt werden oder neue Testfälle erstellt werden. Aber auch der umgekehrte Fall ist möglich. Es kann dazu kommen, dass Endekriterien nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand erreicht werden und daher bestimmte Testfälle entfallen oder Kriterien überdacht werden müssen.

Für die Testautomatisierung ist die wesentliche Aufgabe dieser Phase die Auswertung und Aufarbeitung der erhaltenen Ergebnisse. Automatisierte Tests generieren oftmals eine Fülle an Log-Dateien und Protokollen. Um aus diesen Ergebnissen die richtigen Schlüsse zu ziehen und sie für dritte zugänglich zu machen, müssen sie in eine lesbare Form gebracht werden. In jedem Fall muss über die erhaltenen Ergebnisse und das daraus resultierende Vorgehen ein Testbericht erstellt werden. Je nach Umfang und Phase der Test, kann dieser mehr oder weniger formal ausfallen. Für einen Komponententest reicht beispielsweise eine formlose Mitteilung. Höhere Teststufen erfordern allerdings einen formaleren Bericht.

2.4.5. Abschluss der Testaktivitäten

Sind die Testaktivitäten beendet, sollten zum Schluss alle im Laufe des Testprozesses gemachten Erfahrungen analysiert werden. So können die gewonnenen Erkenntnisse für spätere Projekte genutzt werden. Dadurch kann eine stetige Verbesserung des Testprozesses erreicht werden. Die während des Prozesses erstellte Testware sollte archiviert werden. Auf diese Weise steht sie für folgende Regressionstests zur Verfügung. Die Kosten in Wartung und Pflege der Software können damit gesenkt werden. Bei der Testautomatisierung bedeutet das, die Wiederherstellbarkeit der Testumgebung und des Sourcecodes der Tests sicherzustellen.

Abschließend ist zu sagen, dass sich die Testautomatisierung in der Regel gut in einen bereits bestehenden Testprozess integrieren lässt. Sie wird allerdings „den Prozess nicht verbessern oder gerade richten, sondern nur unterstützen.“ [Sei12, S.21]

Ist der Testprozess schon vor Einführung einer Automatisierung schlecht gelaufen, wird er

sich nach der Einführung nicht verbessern. Die Testautomatisierung ist also nicht als Heilmittel für schlecht laufende Prozesse gedacht, sondern als Möglichkeit einen bereits gut laufenden Prozess effizienter und effektiver zu gestalten.

2.5. Vorgehensmodelle

Der in Kapitel 2.4 beschriebene Testprozess ist nicht als losgelöster, eigenständiger Prozess zu betrachten. Vielmehr ist der Testprozess immer ein Teil eines größeren Entwicklungsablaufs bei der Erstellung eines Softwareprodukts. Einen solchen Entwicklungsablauf versucht man mit Hilfe von sogenannten Softwareentwicklungsmodellen, auch Vorgehensmodelle genannt, abzubilden. Ein Projekt wird dazu in einzelne Phasen untergliedert an deren Ende ein gewisses Ziel bzw. Ergebnis steht. Auf gröbster Ebene lassen sich die Abläufe auf vier Hauptphasen reduzieren. Diese Phasen finden sich mehr oder weniger ausgeprägt in den meisten der gängigen Vorgehensmodelle wieder und werden auch so von Seidl et al. [Sei12, S.21 ff.] verwendet:

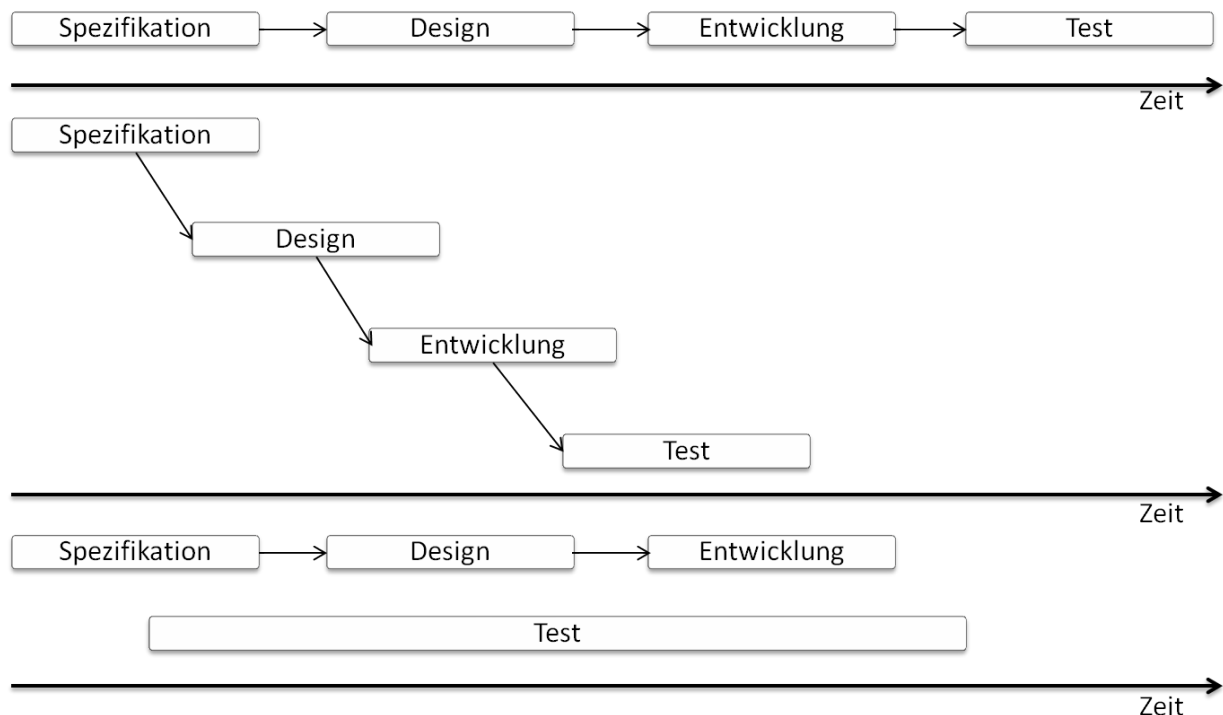
- Spezifikation
- Design
- Entwicklung
- Test

Das Testen, bzw. der Testprozess ist eine von mehreren Phasen in solch einem Entwicklungsmodell. Es gibt eine Vielzahl von unterschiedlichen Softwareentwicklungsmodellen. Der Hauptunterschied liegt meist in der zeitlichen Koppelung und der inhaltlichen Ausprägung der einzelnen Phasen. Die einzelnen Phasen können sich innerhalb eines Vorgehensmodells überschneiden und wiederholen und müssen auch nicht immer, wie in der Auflistung angegeben, sequentiell abgearbeitet werden. Aus der Sicht der Testautomatisierung ist nach Seidl et al. [Sei12, vgl. S.21 ff.] eine Einteilung der verschiedenen Vorgehensmodelle in zwei Gruppen sinnvoll:

- Klassische Entwicklungsmodelle, die eher sequentiell ausgerichtet sind
- Iterative und agile Entwicklungsmodelle, die sich durch Parallelisierung und kurze Iterationen auszeichnen.

2.5.1. Klassische Entwicklungsmodelle

Die hier als Klassische Entwicklungsmodelle betitelten Vorgehensmodelle zeichnen sich vor allem dadurch aus, dass die einzelnen Phasen sequentiell ausgeführt werden. Der bekannteste Vertreter dieser Vorgehensmodelle ist das Wasserfallmodell [Roy87]. In diesem Modell sind alle Phasen strikt voneinander getrennt. Eine neue Phase kann erst begonnen werden, wenn eine vorangegangene Phase abgeschlossen wurde. Rücksprünge in vorangegangenen Phasen sind unerwünscht. In der Praxis wird dieses vorgehen laut Seidl et al. [Sei12, vgl. S.22] jedoch oft nicht ganz so strikt umgesetzt. Es kommt zu Mischformen, bei denen die einzelnen Phasen nicht mehr voll sequentiell abgearbeitet werden sondern sich teilweise überlagern. Vor allem im Bereich des Testens geht man oft zu einer solchen Überlagerung über. Das Testen ist meist keine getrennte Phase am Ende des Entwicklungsprozesses sondern erstreckt sich über den gesamten Prozess ausgehend von der frühen Spezifikationsphase. Mögliche Ausprägungen klassischer Entwicklungsmodelle sind in Abbildung 2.3 dargestellt.



Quelle: [Sei12, vgl. S.22]

Abbildung 2.3.: Verschiedene Ausprägungen klassischer Entwicklungsmodelle

Seidl et al. [Sei12, vgl. S.22] stellen fest, dass in Projekten, die ein solch sequentielles Vorgehen wählen, bereits in der frühen Planungsphase des Testprozesses genau abgewägt werden muss,

ob eine Automatisierung der Testfälle überhaupt sinnvoll ist. Wenn zu Beginn des Projektes schon klar ist, dass die Testfälle nur ein einziges mal, am Ende des Entwicklungsprozesses, ausgeführt werden, steht eine Automatisierung oft nicht in Relation zu den erhöhten Kosten die bei der Erstellung der Tests anfallen würden. Es ist allerdings zu beachten, dass Software meist mit dem Ende eines Projektes nicht seinen finalen Stand erreicht hat. Fehler, so wie geänderte Anforderungen, führen meist dazu, dass sich Softwareprodukte ständig Weiterentwickeln. Diese Weiterentwicklung ist zwangsläufig mit Codeänderungen verbunden die, wiederum zu Fehlern in bereits bestehendem Code führen kann. Um solche Fehler zu entdecken müssen im Rahmen von Regressionstests auch Testfälle wiederholt werden die bereits erfolgreich abgeschlossen wurden. Solche Regressionstests lassen sich bei einer vorhandenen Testautomatisierung besonders leicht durchführen. Sind also in der Software, nach Projektabschluss, größere Änderungen zu erwarten, kann sich eine Automatisierung über längere Sicht durchaus lohnen. Neben Regressionstests kann nach Seidl et al. [Sei12, vgl. S.23] auch die Notwendigkeit einer höheren Testtiefe oder einer breiteren Testabdeckung ein Faktor sein sich für eine Automatisierung zu entscheiden. In manchen Fällen, wie beispielsweise Lasttests, mit mehreren hundert Usern, kann eine Automatisierung auch unabdingbar werden.

2.5.2. Iterative und agile Entwicklungsmodelle

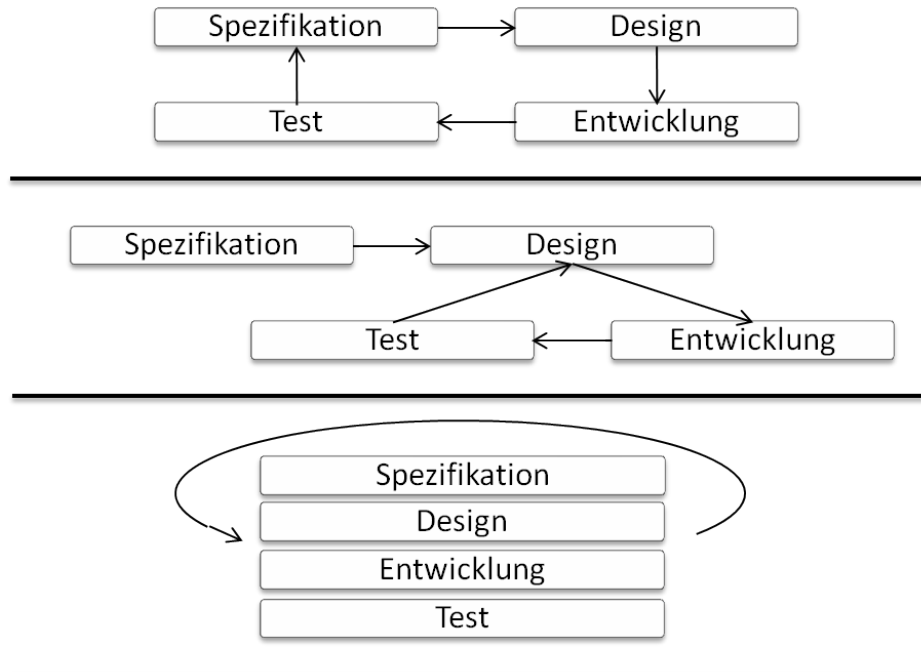
Als weitere Gruppe der Vorgehensmodelle nennen Seidl et al. [Sei12, vgl. S.23 ff.] die Iterativen und agilen Entwicklungsmodelle.

Im Gegensatz zu den klassischen Entwicklungsmodellen sind in iterativen Modellen Rücksprünge in vorangegangene Phasen explizit erlaubt. Eine oder alle Phasen werden in diesen Modellen wiederholt durchlaufen. Auf diese Weise kann das Softwareprodukt inkrementell wachsen. Durch ein derartiges Vorgehen ist es einfacher möglich auf den Umstand zu reagieren, dass sich Anforderungen in Softwareprojekten häufig ändern.

Auch agile Vorgehensmodelle leben von solch einem iterativen Vorgehen. Die einzelnen Phasen werden in kleinen Zyklen viele Male durchlaufen. Ein bekannter Vertreter der agilen Methoden ist Scrum [Sch02]. In Scrum wird ein Softwareprodukt in kurzen, sogenannten Sprints realisiert. Innerhalb eines solchen Sprints wählt das Team selbständig eine Teilaufgabe des Projekts aus. Diese Teilaufgabe wird spezifiziert, designet, entwickelt und getestet. Am Ende eines Sprints steht ein Softwareprodukt, welches um ein weiteren Baustein ergänzt wurde. Der Sprint ist das zentrale Element dieses Prozessmodelles und kennzeichnet eine Iteration. Abbildung 2.4 zeigt verschiedene Ausprägungen iterativer und agiler Entwick-

lungsmodelle.

Für das Testen stellen diese kurzen Iterationen laut Seidl et al. [Sei12, vgl. S.24] ein Pro-



Quelle: [Sei12, vgl. S.24]

Abbildung 2.4.: Verschiedene Ausprägungen iterativer und agiler Entwicklungsmodelle

blem dar. Jeder Entwicklungszyklus bringt neue Features hervor, die mit Testfällen abgedeckt werden müssen. Der agile Charakter in diesen Vorgehensmodellen bedingt, dass sich Anforderungen ständig ändern und somit auch bereits fertiger Code oft angepasst werden muss. Darüber hinaus ist nicht ausgeschlossen, dass neue Features Auswirkungen auf alten Code haben können. Neben den neu implementierten Teilen muss daher zum Ende einer jeden Iteration auch sämtlicher alter Code getestet werden. Das bedingt einen enormen Testaufwand am Ende einer jeden Iteration. In agilen Vorgehensmodellen, wie Scrum, ist der Testaufwand nach wenigen Sprints bereits so hoch, dass ein Testdurchlauf zusammen mit allen Regressionstests, manuell nicht mehr zu bewältigen ist. Gerade in Projekten, die einem derartigen Vorgehensmodell folgen, ist es daher sinnvoll Testautomatisierung einzusetzen. Einmal implementierte Testfälle können zum Ende einer jeden Iteration erneut ausgeführt werden. Die höheren Kosten, die bei der Automatisierung entstehen, sind so schnell amortisiert.

Das sich ständig ändernde Testobjekt bedingt nicht nur die Notwendigkeit von automatisierten Testfällen, es erhöht gleichzeitig auch die Anforderungen an die Qualität der Testfälle. Häufige Änderungen am zu testenden Code lassen einmal implementierte Testfälle schnell

veralten. Es muss daher bei der Erstellung der automatisierten Tests besonders auf die Wartbarkeit geachtet werden. Testfälle sollten möglichst Robust gewählt werden und nicht schon durch kleine Änderungen am Testobjekt zerstört werden. Änderungen am Testobjekt sind in agilen Projekten unvermeidbar. Unter diesem Gesichtspunkt sollte daher auch das Design der Testfälle erfolgen. Automatisierte Testfälle sollten ähnliche Qualitätsstandards wie der Code des eigentlichen Projektes unterliegen. Anpassungen an den Testfällen werden sonst schnell zu zeitaufwändig. Die Pflege der bereits implementierten Testfälle wird dann nicht mehr tragbar und die Akzeptanz der Tests im Projekt sinkt.

3. Testautomatisierung

In Kapitel 2.3 wurde der Begriff Testautomatisierung bereits eingeführt. Die darin gewählte Definition hat gezeigt, dass man unter Testautomatisierung weit mehr versteht, als das automatisierte ausführen von Testfällen auch wenn das der wohl am weitesten verbreiteten Bereich der Automatisierung ist. Testautomatisierung ist in allen Bereichen des Entwicklungs- bzw. Testprozesses möglich.

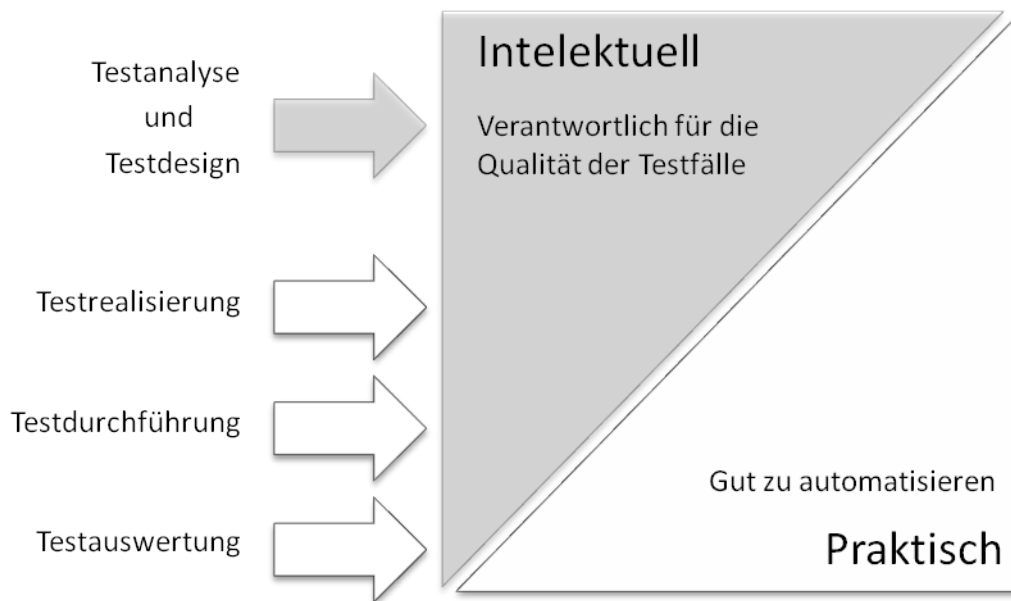
„Das Spektrum umfasst alle Tätigkeiten zur Überprüfung der Softwarequalität im Entwicklungsprozess, in den unterschiedlichen Entwicklungsphasen und Teststufen so wie die entsprechenden Aktivitäten von Entwicklern, Testern, Analytikern oder auch der in die Entwicklung eingebundenen Anwender. Die Grenzen der Automatisierung liegen darin, dass diese nur die manuellen Tätigkeiten eines Testers übernehmen kann, nicht aber die intellektuelle, kreative und intuitive Dimension dieser Rolle.“ [Sei12, S.7]

Die intellektuelle Dimension ist vor allem in den frühen Phasen des Testprozesses gefordert. Diese Phasen sind maßgeblich für die spätere Qualität der einzelnen Testfälle. Testautomatisierung wird daher nie die Arbeiten eines guten Testanalysten voll ersetzen können. Um so weiter der Testprozess voranschreitet, um so praktischer werden auch die zu erledigenden Aufgaben. Das Potential für eine Automatisierung steigt also im Laufe des Testprozesses. Fewster und Graham [FG99, vgl. S.18] stellen diesen Zusammenhang in einer Grafik bildlich dar. Abbildung 3.1 greift diese Darstellung auf und passt sie auf den in Kapitel 2.4 vorgestellten Testprozess an. Die verschiedenen Möglichkeiten der Testautomatisierung werden in Kapitel 3.2 geklärt. Zunächst soll jedoch die Frage beantwortet werden warum eine Automatisierung von Testfällen überhaupt Sinn macht.

3.1. Warum Testautomatisierung

Richtig durchgeführt kann Testautomatisierung eine Reihe von Vorteilen bringen. Dustin et al. [Dus01, S.44 ff.] stellen drei bedeutende Vorteile der Testautomatisierung fest:

1. Erstellung eines zuverlässigen Systems



Quelle: [FG99, vgl. S.18]

Abbildung 3.1.: Grenzen und Möglichkeiten der Testautomatisierung

2. Verbesserung der Testqualität und Testtiefe

3. Verringerung des Testaufwands und Reduzierung des Zeitplans

In der Literatur gibt es zahlreiche Listen von Vorteilen der Testautomatisierung, wie beispielsweise von Fewster und Graham [FG99, vgl. S.9 ff.] oder Thaller [Tha02, vgl. S.28 ff.], die sehr viel feiner gegliedert sind als die von Dustin et al. [Dus01, S.44 ff.] gewählten Oberpunkte. Gleicht man diese Vorteile mit den von Dustin et al. gewählten Oberpunkten ab zeigt sich, dass vor allem die Verbesserung der Testqualität und Testtiefe so wie die Verringerung des Testaufwands und die Reduzierung des Zeitplans gut durch diese repräsentiert werden. Diese Oberpunkte lassen sich leicht mit den feiner ausformulierten Vorteilen unterfüttern. Die Erstellung eines zuverlässigen Systems ist hingegen nur schwer direkt durch feiner formulierte Vorteile zu untermauern. In der Regel wird dieser Punkt indirekt durch eine Verbesserung in den Punkten 2 und 3 beeinflusst. Eine Verringerung des Testaufwands für einzelne Tests schafft mehr Zeit die in bessere und breiter angelegte Tests investiert werden kann. Neben der direkten Beeinflussung führt Testautomatisierung also zusätzlich auch indirekt zu einer höheren Testqualität und Testtiefe. Diese bedingt wiederum, dass mehr Fehler im System aufgedeckt werden können. So kann eine höhere Qualität des Endproduktes erreicht werden die sich in einem zuverlässigeren System zeigt. Da die Erstellung eines zuverlässigen Systems nur schwer direkt durch feiner gegliederte Vorteile belegt werden kann und

eher eine Folge der Verbesserung in den anderen beiden Bereichen ist, wird sie im weiteren nicht näher betrachtet.

Fewster und Graham [FG99, vgl. S.10] fassen die Vorteile der Testautomatisierung noch weiter zusammen und reduzieren sich in ihrer Fazit auf die Worte Qualitäts- und Effizienzsteigerung. Diese Begriffe entsprechen weitestgehend den von Dustin et al. gewählten Oberpunkten. Qualitätssteigerung fasst dabei die Verbesserung der Testqualität und Testtiefe zusammen, die Verringerung des Testaufwands und Reduzierung des Zeitplans entspricht der Effizienzsteigerung. Um die Vorteile der Testautomatisierung auf eine Feinere und damit greifbarer Ebene zu bewegen werden im Folgenden die Vorteile wie sie Fewster und Graham beschreiben verwendet und den von Dustin et al. gewählten Kategorien zugeordnet.

3.1.1. Verringerung des Testaufwands und Reduzierung des Zeitplans

Die Vorteile in Tabelle 3.1 beschreiben, dass der Aufwand der für das Testen einer Software betrieben werden muss mit Hilfe von Automatisierung reduziert werden kann. Reduzierter Aufwand in den Tests so wie eine schnellere und wiederholbare Abarbeitung der Testfälle führen dann meist dazu, dass der gesamte Zeitplan des Projekts positiv beeinflusst wird. Sein volles Potential entfaltet Automatisierung immer dann, wenn Testfälle wiederholt ausgeführt werden. Regressionstests, die vor jedem neuen Releaszyklus einer Software ausgeführt werden sind daher beispielsweise prädestiniert dazu automatisiert zu werden. Tester können so von sich wiederholenden Testaufgaben entlastet werden. Der Testaufwand wird reduziert und die Tester sind frei für andere Aufgaben was wiederum das Projekt beschleunigt.

3.1.2. Verbesserung der Testqualität und Testtiefe

Die in Tabelle 3.2 beschriebenen Vorteile zeigen, dass sich mit Hilfe der Testautomatisierung Verbesserungen im Bereich der Testqualität und Testtiefe erreichen lassen. Eine bessere Testqualität wird meist dadurch erzielt, dass die Testfälle in ihrer Gesamtheit ein höheres Potential erreichen Fehler aufzudecken. Vor allem eine höhere Testtiefe und eine breitere Testabdeckung sind hier die treibenden Faktoren. Aber auch die Qualität einzelner Testfälle kann mittels Testautomatisierung direkt verbessert werden. Vor allem eine bessere Wiederverwendbarkeit und Wiederholbarkeit sind hier der ausschlaggebend.

Ausführen existierender Regressionstests für eine neue Version der Software	Der Aufwand um Regressionstests manuell durchzuführen kann schnell sehr groß werden. Sind Testfälle automatisiert ist es möglich sie bei Änderungen am System mit wenig Aufwand erneut durchzuführen.
Besserer Einsatz von Ressourcen	Durch Automatisierung lässt es sich vermeiden Tester mit generischen Aufgaben zu binden wie beispielsweise das immer gleiche Tippen von Testeingaben. Die so freigegebenen Ressourcen können für andere Aufgaben verwendet werden. Der Zeitplan des Projektes kann so verkürzt werden.
Wiederverwendbarkeit von Testfällen	Neue Projekte können von den Ergebnissen der Testautomatisierung aus vorangegangenen Projekten profitieren. Auch innerhalb eines Projektes können Teile von Automatisierten Testfällen oft wiederverwendet werden. Das reduziert den Zeitplan des Projekts.
Frühere Markteinführung.	Richtig eingesetzt beschleunigt Testautomatisierung den gesamten Testprozess. Das verkürzt letztendlich auch die Zeit bis zur Markteinführung der Software.

Tabelle 3.1.: Verringerung des Testaufwands und Reduzierung des Zeitplans nach Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 9 ff.]

3.1.3. Kosten als Bewertungsgrundlage für die Testautomatisierung

Die unter Kapitel 3.1.2 und Kapitel 3.1.1 aufgezeigten Vorteile der Testautomatisierung haben das Problem, dass sie sich meist nur schwer messen und mit genauen Zahlen belegen lassen. Um das zu erreichen muss man sich auf die kleinste gemeinsame Größe zurückziehen auf die all die genannten Vorteile hinarbeiten: Eine Reduzierung der Kosten beim Testen. Sowohl eine Verbesserung der Testqualität und Testtiefe als auch eine Verringerung des Testaufwands und Reduzierung des Zeitplans verfolgen in letzter Instanz immer das Ziel Kosten einzusparen. Sei es direkt durch z.B. eine verkürzte Projektlaufzeit als auch indirekt durch geringere Folgekosten in der Wartung bedingt durch eine höhere Testqualität. Die geringeren Folgekosten sind wiederum nur schwer mit einer genauen Zahl zu beziffern. Ist ein Projekt erst einmal abgeschlossen lässt sich nicht mehr einfach ermitteln wie hoch die Differenz und der Schweregrad der gefundenen Fehler beim automatisierten im Gegensatz zum manuellen Testen gewesen wäre. Um den Nutzen von Testautomatisierung daher für ein Projekt messbar zu machen und nachvollziehbar zu begründen, bieten nach Ramler und Wolfmaier [RW06] die direkten Kosten die durch das Erstellen und Ausführen der Testfälle entstehen den besten Angriffspunkt. Ramler und Wolfmaier [RW06] zitieren eine Fallstudie von Linz und Daigl [DRP99] die eine Unterteilung der Kosten in zwei Komponenten vornimmt.

Mehr Testfälle öfter ausführen	Aus Zeitmangel müssen sich Tester oft auf einen geringeren Testumfang zurückziehen also eigentlich gewünscht ist. Vor allem bei sehr generischen Testfällen, die sich vielleicht nur in verschiedenen Maskeneingabe unterscheiden ist es mithilfe von Testautomatisierung möglich in weniger Zeit ein vielfaches an Testfällen durchzuführen. Eine tiefere Testabdeckung ist die Folge. Da solche Testfälle in der Regel auf einem generischen Basistestfall beruhen ist es hier besonders einfach möglich eine durchgehend hohe Testqualität zu gewährleisten.
Testfälle durchführen die ohne Automatisierung schwer bis unmöglich wären	Einen Lasttest mit z.B. mehr als 200 Benutzern manuell durchzuführen erweist sich als nahezu unmöglich. Die Eingaben von 200 Benutzern lassen sich mit Hilfe von automatisierten Lasttests jedoch gut simulieren. Über Testfälle die ohne Automatisierung gar nicht möglich wären, lässt sich die Testbreite erhöhen. Die Qualität der Tests steigt durch das erhöhte Potential Fehler zu entdecken.
Konsistenz und Wiederholbarkeit von Testfällen	Testfälle die automatisch durchgeführt werden, werden immer auf die selbe weise durchgeführt. Eine derartige Konsistenz in den Testfällen ist auf manuellem Wege kaum zu erreichen. Fehler in der Testfalldurchführung können so vermieden werden. Die Qualität der Testfälle steigt.
Erhöhtes Vertrauen in die Testfälle und Software	Das Wissen, dass eine Vielzahl an Testfällen erfolgreich vor jedem Release durchgeführt wurden, erhöht das Vertrauen von Entwickler und Kunden, dass unerwartete Überraschungen ausbleiben. Werden Testfälle regelmäßig ausgeführt, erhöht das zusätzlich das Vertrauen, dass diese Testfälle stabil sind und keine Falschmeldungen liefern.

Tabelle 3.2.: Verbesserung der Testqualität und Testtiefe nach Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 9 ff.]

$V :=$ Ausgaben für Testspezifikation und Implementierung

$D :=$ Ausgaben für einen einzelnen Testlauf

Mit Hilfe dieser beiden Variablen können die Kosten (A_a) für einen einzelnen automatisierten Testfall wie folgt angegeben werden:

$$A_a := V_a + n * D_a \quad (3.1)$$

V_a symbolisiert die Kosten die für die Spezifikation und Implementierung des automatisierten Testfalls anfallen. D_a die Kosten die für das einmalige Ausführen des Testfalles entstehen und n steht für die Anzahl der durchgeführten Testläufe. Um zu bestimmen wie sich das Manuelle und Automatisierte Testen zueinander verhalten, kann analog die selbe Gleichung für das manuelle Testen aufgestellt werden.

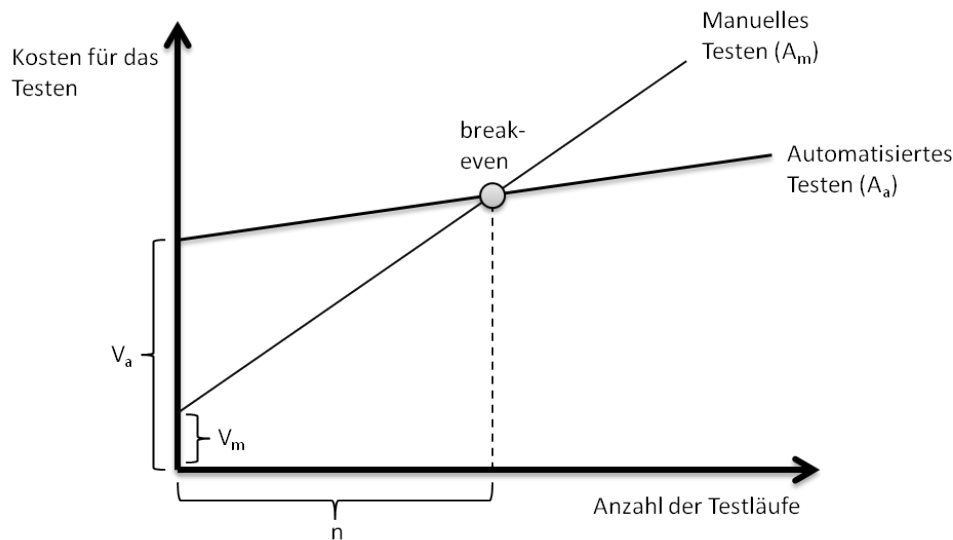
$$A_m := V_m + n * D_m \quad (3.2)$$

Mit Hilfe dieser beiden Gleichungen lässt sich zeigen, dass sich ab einer gewissen Anzahl an Testläufen die Automatisierung gegenüber der manuellen Ausführung aus Sicht der Kosten lohnt. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die initiale Investition V_a für die Automatisierung höher ist als die initiale Investition für das Manuelle Testen V_m . Die Kosten des Testfalls steigen mit jeder Testausführung n für die Automatisierung jedoch langsamer an. Beide Funktionen schneiden sich daher in einem break-even Punkt ab dem die Automatisierung die günstigere Alternative darstellt. Abbildung 3.2 veranschaulicht diesen Zusammenhang noch einmal grafisch.

Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass vor allem wiederholt ausgeführte Testtätigkeiten hohes Einsparungspotential bei einer Testautomatisierung bieten.

3.1.4. Probleme der Testautomatisierung

Ramler und Wolfmaier [RW06] zitieren ein Erreichen des break-even Punktes wie er in Kapitel 3.1.3 beschrieben ist nach einer Ausführung von 2-20 Testläufen. Diese große Spanne macht deutlich, wie wichtig es ist, in der Testplanung und Steuerung genau abzuwägen ob und wo eine Automatisierung sinnvoll einzusetzen ist. Eine Automatisierung kann oft auch unwirtschaftlich sein, vor allem immer dann, wenn Tests nur ein einziges Mal ausgeführt werden. Implementierungs- und Wartungsaufwand von automatisierten Testfällen sind meist sehr viel höher als die von manuellen Testfällen. Dieser Mehraufwand muss in irgendeiner Weise



Quelle: [RW06]

Abbildung 3.2.: Break-even Punkt für Testautomatisierung

gerechtfertigt sein. Laut Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 22 ff.] und auch Thaller [Tha02, vgl. S.230 ff.] wird dieser Punkt oftmals vernachlässigt und die Testautomatisierung als Heilmittel für schlecht laufende Prozesse und zu hohe Kosten gesehen. Dabei ist genau das Gegenteil der Fall. Es ist sinnvoller zunächst die Qualität der Tests und des eigenen Testprozesses zu optimieren bevor eine Automatisierung eingeführt wird. Eine weiterer Schwachpunkt der Automatisierung ist nach Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 22 ff.], dass die Automatisierung von Software-Tests zwar einen deutlichen Mehraufwand bedeuten jedoch die Anzahl der gefundenen Fehler nur wenig erhöht wird. Bevor Testfälle automatisiert werden, müssen sie in der Regel zuvor einmal manuell durchgeführt werden um sicher zu stellen, dass der angedachte Test auch sinnvoll und realisierbar ist. Meist werden Fehler bereits bei dieser manuellen Aufgabe festgestellt. Wird der Testfall dann automatisiert, deckt er weit weniger wahrscheinlich einen Fehler auf als bei seiner ersten, manuellen Ausführung. Darüber hinaus können automatisierte Testfälle Fehler nur über die Akzeptanzkriterien aufdecken die ihnen explizit hinterlegt wurden. Oft reichen die hinterlegten Kriterien aber nicht aus um alle Fehlerquellen abzudecken. Das kann laut Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 23 ff.] dazu führen, dass Testfälle als positiv gekennzeichnet werden obwohl sie in Wirklichkeit fehlerhaft waren. Bei manuellen Tests fallen vergessene Akzeptanzkriterien eher auf bzw. werden durch den Tester instinktiv hinzu gedacht. Die Anzahl der fälschlicherweise positiv gewerteten Testfälle sinkt. Eine weitere positiven Aspekt den Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 24 ff.] in einem manuellen Tester sehen ist eine höhere Stabilität in den Testfällen.

Ein Tester kann sich auf kleinere Änderungen in der zu testenden Software leicht einstellen. Er kann selbst entscheiden ob eine Abweichung vom Testfall als Fehler zu werten oder zu vernachlässigen ist. Automatisierte Testfälle bieten diesen Luxus nicht. Sie verfolgen einen festen Ablaufplan und können nur schwer mit Veränderungen in der zu testenden Software umgehen. Das macht sie im Vergleich zu manuellen Tests instabil und erfordert einen erhöhten Wartungsaufwand. In manchen Fällen kann diese Abhängigkeit zwischen Software und automatisiertem Test sogar so weit führen, dass sie die Entwicklung der Software behindern. Beispielsweise dann, wenn eine Änderung in der Software so große Auswirkungen auf die automatisierten Testfälle hätte, dass es aus wirtschaftlicher Sicht nicht mehr sinnvoll ist sie durchzuführen. Die Kosten für die Anpassungen an den Tests wären dann so hoch, dass sie den Nutzen, welchen die Änderung an der Software bringt nicht mehr aufwiegen kann. Analog zu den in Tabelle 3.1 und 3.2 genannten Vorteilen haben Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 10 ff.] auch eine Liste mit bekannten Nachteilen der Testautomatisierung aufgestellt welche die gerade angesprochenen Probleme noch einmal aufgreifen und ergänzen.

3.2. Möglichkeiten der Testautomatisierung im Testprozess

Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, beschränkt sich die Testautomatisierung nicht nur auf das automatisierte ausführen von Testfällen sondern erstreckt sich über den gesamten Testprozess. Innerhalb des Testprozesses haben Amannejad et al. [Ama+14] vier Hauptaufgaben identifiziert die aus Sicht der Testautomatisierung besonders interessant sind:

- Testdesign: Erstellen einer Liste von Testfällen.
- Testcodeerstellung: Erstellen von automatisiertem Testcode.
- Testdurchführung: Ausführen von Testfällen und aufzeichnen der Ergebnisse.
- Testauswertung: Auswerten der Testergebnisse.

3.2.1. Testdesign

Beim Testdesign handelt es sich um eine Aufgabe die laut Thaller [Tha02, vgl. S. 231] nicht unbedingt prädestiniert dafür ist, automatisiert zu werden. Abbildung 3.1 hat bereits gezeigt, dass es sich um eine eher intellektuelle geprägte Aufgabe handelt. Dennoch gibt es eine Reihe von Möglichkeiten wie das Designen von Testfällen automatisiert werden kann.

Unrealistische Erwartungen	Testautomatisierung wird oft als Lösung für alle Testprobleme gesehen. Es ist wichtig, dass die Erwartungen aller beteiligten realistisch bleiben.
Schlechte Testpraxis	Wenn das Testen in einem Unternehmen bereits eine Schwachstelle darstellt ist es nicht sinnvoll eine Testautomatisierung einzuführen. Es ist besser zunächst die vorherrschenden Prozesse zu optimieren.
Die Anzahl der gefundenen Fehler wird sich nicht stark verändern	Fehler werden meist bei der ersten Durchführung eines Testfalls aufgedeckt. Wird ein Testfall wiederholt, sinkt auch seine Wahrscheinlichkeit Fehler aufzudecken. In der Regel werden Fehler bereits beim entwickeln der automatisierten Testfelle entdeckt, nicht erst bei weiteren Testläufen.
Trügerische Sicherheit	Die Tatsache, dass alle automatisierten Testfälle positiv waren, bedeutet nicht, dass die Software auch frei von Fehlern ist. Möglicherweise sind nicht alle Bereiche der Software mit Testfällen abgedeckt oder die Akzeptanzkriterien der Testfälle sind nicht umfassend genug gewählt worden. Auch ist es möglich, dass die Testfälle fehlerhaft sind und falsche Ergebnisse anzeigen.
Wartung	Automatisierte Testfälle haben einen hohen Wartungsaufwand. Änderungen an der Software bedingen oft auch, dass die Testfälle überarbeitet werden müssen. Wird dieser Wartungsaufwand so hoch, dass es günstiger wäre die Testfälle manuell durchzuführen, werden die automatisierten Tests unwirtschaftlich.
Technische Probleme	Die Automatisierung von Testfällen stellt eine komplexe Aufgabe dar und ist daher oft mit Problemen verbunden. Die verwendeten Tools bzw. Frameworks sind meist selbst nicht befreit von Fehlern. Oft gibt es auch technische Probleme mit der zu testenden Software selbst.
Probleme in der Organisation	Eine erfolgreiche Testautomatisierung stellt hohe Anforderungen an die technischen Fähigkeiten der Entwickler und erfordert starken Rückhalt in der Führungsebene. Testautomatisierung läuft nicht immer sofort reibungslos und erfordert oft Anpassungen in vorherrschenden Prozessen.

Tabelle 3.3.: Probleme der Testautomatisierung nach Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 10 ff.]

Die verschiedenen Ansätze beschränken sich in der Regel darauf, unterschiedliche Testeingaben für die zu testende Software zu finden. Ein großes Problem welches die Tools zum Designen der Testfälle laut Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 19] dabei haben ist, dass sie einem fest vorgegebenen Algorithmus folgen. Dieses Vorgehen wird jedoch der intellektuellen Komponente dieser Aufgabe nicht gerecht. Ein Tester kann ähnlichen strukturierten Testfallerstellungsmethoden folgen wie sie beim automatisierten Testdesign verwendet werden, darüber hinaus ist er jedoch zusätzlich in der Lage außerhalb eines vorgegebenen Algorithmus Testfälle zu identifizieren, fehlende Anforderungen zu finden oder sogar, auf Grund von persönlicher Erfahrung, Fehler in der Spezifikation aufzudecken. Um eine komplexe Software umfassend zu Testen reicht es nicht aus, einem festen Algorithmus zu folgen. Eine tiefere Analyse durch einen Tester wird benötigt. Ein weiteres Problem das Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 19] nennen, ist die Menge an Testfällen, die mit Hilfe von automatisierten Methoden erzeugt werden. Die Anzahl der Testfälle kann schnell so groß werden, dass sie nicht mehr in einem vertretbarem Zeitaufwand durchgeführt werden können. In diesem Fall müssen aus der Menge die wichtigsten Testfälle identifiziert werden. Testfälle nach ihrer Relevanz zu filtern ist wiederum eine intellektuelle Aufgabe die nur schwer in einem Automatisierungstool abgebildet werden kann.

Trotz ihrer Probleme haben Methoden zum automatisierten Testfalldesign durchaus ihre Daseinsberechtigung. Sie können die Arbeit des Testers beschleunigen, indem sie ihm einen Grundstock an Testfällen an die Hand geben, der durch weitere Testfälle erweitert werden kann. Sinnvoll ist es, sich nicht ausschließlich auf die Möglichkeit des automatisierten Testfalldesigns zu stützen, sondern sie mit den Fähigkeiten, die ein menschlicher Tester mit sich bringt, zu kombinieren.

Seidel et al. [Sei12, vgl. S. 27] beschreiben eine Reihe an Testfallentwurfsmethoden die sie unter dem Oberbegriff der Kombinatorik zusammenfassen. Diese Entwurfsmethoden zielen darauf ab aus einer Fülle von möglichen Eingaben, diejenigen herauszufinden, die ein hohes Fehlerpotenzial in sich bergen. Darunter fallen beispielsweise:

- Äquivalenzklassenbildung
- Grenzwertanalyse
- Klassifikationsbaummethode

Diese Entwurfsmethoden kommen vor allem beim manuellen designen von Testfällen zum Einsatz, bieten aber auch die Möglichkeit toolgestützt und damit automatisiert abzulaufen. Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 19 ff.] beschreiben eine Reihe von weiteren Methoden zum erzeugen von Eingabedaten die vermehrt in automatisierten Tools zum Einsatz kommen:

- Code-basierte Generierung von Eingabedaten
- Interface-basierte Generierung von Eingabedaten
- Spezifikations-basierte Generierung von Eingabedaten

3.2.1.1. Code-basierte Generierung von Eingabedaten

Die Generierung der Eingabedaten erfolgt bei diesem Ansatz anhand der Struktur des Codes (siehe Abbildung 3.3). Jede Eingabe bedingt einen fest vorbestimmten Ablauf durch das Programm. Anhand des Codes können die benötigten Eingaben ermittelt werden, die für das durchlaufen von unterschiedlichen Pfaden im Programm benötigt werden. Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 19 ff.] sehen in diesem Ansatz jedoch Probleme. Ein Testfall benötigt immer auch ein erwartetes Ergebnis. Über die Code-basierte Generierung ist es nicht möglich diese Ergebnisse zu ermitteln. Die generierten Testfälle sind also unvollständig. Ein weiteres Problem von diesem vorgehen ist, dass ausschließlich der Code getestet wird der auch existiert. Fehlende Funktionalitäten können so nicht erkannt werden. Es wird getestet, dass der Code das ‘tut, was er tut und nicht das, was er tun soll.’ [FG99, vgl. S. 20]

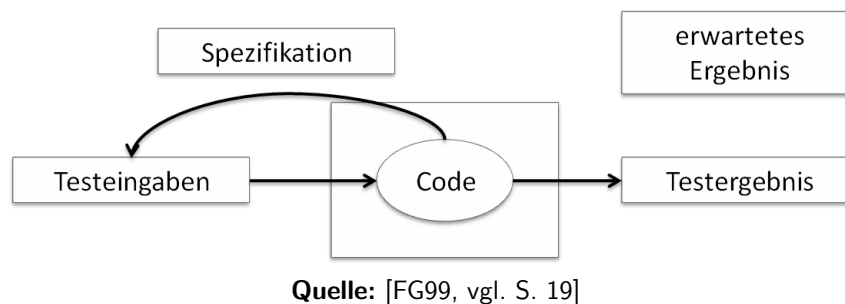
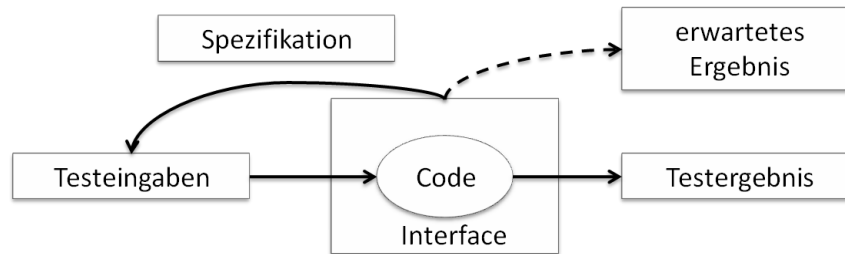


Abbildung 3.3.: Code-basierte Generierung von Testfällen

3.2.1.2. Interface-basierte Generierung von Eingabedaten

Bei dieser Methode erfolgt nach Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 20] die Generierung anhand von gut definierten Schnittstellen wie der Benutzeroberfläche einer Desktop- oder Web-Anwendung (siehe Abbildung 3.4). Wird als Schnittstelle die Benutzeroberfläche gewählt kann beispielsweise getestet werden ob eine Checkbox nach dem Betätigen aktiviert bzw. deaktiviert wurde. Eine andere Möglichkeit wäre es rekursiv jeden Link in einer Webanwendung zu durchlaufen. Alle defekten Links einer Webanwendung könnten auf diese Weise identifiziert werden. Mit Hilfe dieses Ansatzes ist es laut Fewster und Graham [FG99,

vgl. S. 21] auch möglich einfache Akzeptanzkriterien zu generieren. Werden die Links einer Web-Anwendung rekursiv durchlaufen, könnte beispielsweise überprüft werden, dass die Links auch auf eine neue Seite führen.



Quelle: [FG99, vgl. S. 20]

Abbildung 3.4.: Interface-basierte Generierung von Testfällen

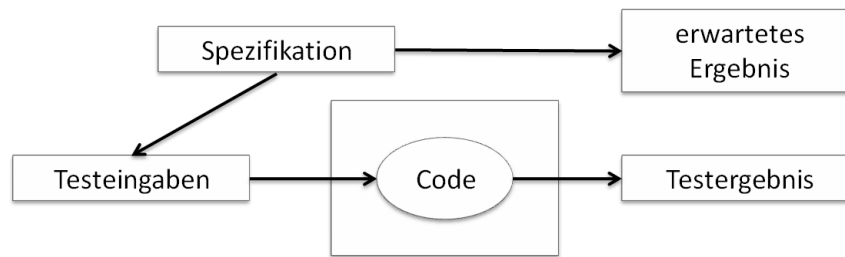
3.2.1.3. Spezifikations-basierte Generierung von Eingabedaten

Mit Hilfe von Spezifikations-basierter Generierung ist es nach Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 21] möglich sowohl Testeingaben als auch die zugehörigen erwarteten Ergebnisse zu erzeugen (siehe Abbildung 3.5). Als Basis wird dazu eine Spezifikation benötigt die automatisiert analysiert werden kann. Die Möglichkeiten dafür reichen von natürlicher Sprache die gewissen Strukturen folgt bis hin zu technischen Modellen.

Vor allem die Benutzung von Modellen hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen und ist heute unter dem Namen modellbasiertes Testen bekannt. Als Referenz auf diesem Gebiet kann das Werk von Roßner et al. [Ros10] „Basiswissen Modellbasierter Test“ dienen. Ein Vorteil des Spezifikations-basierte Ansatzes ist nach Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 21], dass die Testfälle nicht auf Basis einer Implementierung sondern auf Basis einer Spezifikation erzeugt werden. Damit ist sichergestellt, dass die Testfälle nicht nur, wie bei der Code-basierte Generierung, überprüfen ‘was die Software tut’, sondern ‘was sie tun soll’.

3.2.2. Testcodeerstellung

Bei der Testautomatisierung versteht man unter Testcodeerstellung das erzeugen von Testscripten bzw. Testcode, der später wiederholt gestartet werden kann. Der erzeugte Code setzt die Testfälle um die zuvor in der Designphase gefunden wurden. In vielen Fällen handelt es sich dabei um einen manuellen Schritt. Die Testcodeerstellung ist oft eine reine Entwicklertätigkeit bei der ein Tester die angedachten Testfälle in Testcode implementiert. Aber auch in



Quelle: [FG99, vgl. S. 21]

Abbildung 3.5.: Spezifikations-basierte Generierung von Testfällen

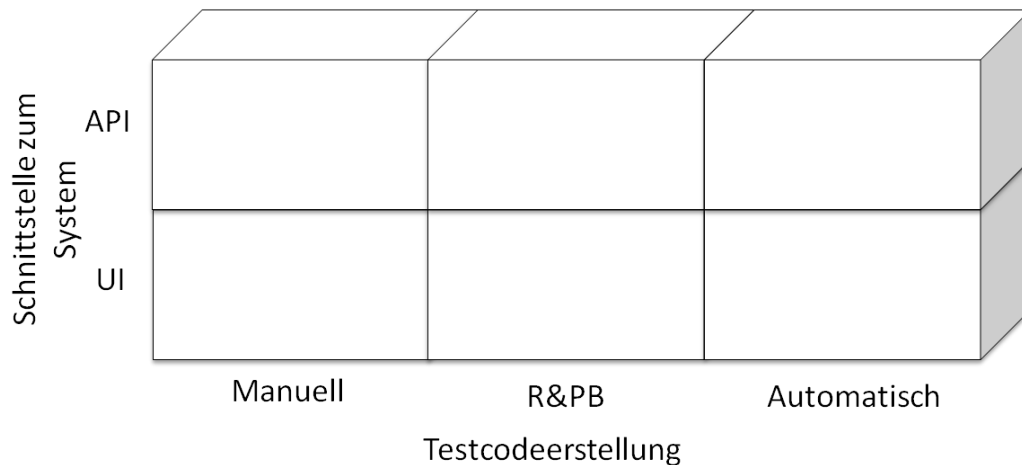
diesem Schritt sind laut Amannejad et al. [Ama+14] Möglichkeiten für eine Automatisierung gegeben. Es existieren beispielsweise teilautomatisierte Ansätze. Mit Hilfe von sogenannten ‘record-and playback‘ Tools (R&PB) können die Interaktionen eines Benutzers mit der zu testenden Software aufgezeichnet werden. Die aufgezeichneten Abläufe können dann verwendet werden um automatisierte Testskripte zu generieren. Auch ein voll automatisierter Ansatz ist möglich, wenn auch nicht so weit verbreitet wie der manuelle bzw. teilautomatisierte Ansatz. Mittels modellbasiertem Testen ist es nicht nur möglich Testfalldesigns abzuleiten. Liegen die Modelle in einem entsprechend hohen Detailgrad vor ist es sogar möglich daraus direkt Testcode zu erzeugen. Bouquet et al. [Bou+08] beschreiben beispielsweise einen modellbasierten Ansatz mit dessen Hilfe das designen, erstellen und ausführen von Testfällen automatisiert geschehen kann. Zusammengefasst ist die Testcodeerstellung damit in drei unterschiedlichen Automatisierungsgraden möglich:

- Manuell
- Teilautomatisiert (R&PB)
- Automatisiert

Allen Ansätzen gemeinsam ist, dass sie immer eine Schnittstelle zum System benötigen über welche der automatisierte Testcode mit der zu testenden Anwendung kommunizieren kann. Meszaros et al. [Mes03] unterscheiden dabei zwei Hauptangriffspunkte:

- API: Als Schnittstelle wird der Code der zu testenden Anwendung direkt benutzt.
- UI: Als Schnittstelle wird die Benutzeroberfläche der Anwendung verwendet.

Kombiniert man die verschiedenen Ansätze der Testcodeerstellung mit den Schnittstellen ergibt sich eine Matrix welche die verschiedenen Möglichkeiten der Testcodeerstellung beim



Quelle: vgl. [Mes03]

Abbildung 3.6.: Verschiedene Möglichkeiten der Testcodeerstellung

automatisierten Testen abbildet. Eine grafische Darstellung dieser Matrix bietet Abbildung 3.6.

Die vollautomatisierte Generierung, also die beiden rechten Quadranten in Abbildung 3.6, befindet sich außerhalb des Rahmens dieser Arbeit und wird daher im folgenden nicht mehr näher betrachtet. Meszaros et al. [Mes03] haben eine ähnliche Matrix aufgestellt die noch um eine weitere Dimension der Testgranularität (Unit-, Integrations- und System-Test) erweitert ist. Diese Dimension hat allerdings nur wenig Auswirkungen auf die Herangehensweise in der Testautomatisierung und wurden deshalb in Abbildung 3.6 nicht mit aufgeführt.

3.2.2.1. API

Unter der Abkürzung API (application programming interface) sind in diesem Zusammenhang alle Schnittstellen zu verstehen, die intern von der zu testenden Anwendung angeboten werden. Darunter fällt beispielsweise das direkte aufrufen von Servicemethoden die als Businesslogik innerhalb der Anwendung bereitgestellt werden. Ein weit verbreitete Technologie die im Rahmen der Testautomatisierung oft diese Art der Schnittstelle verwenden sind die modernen 'XUnit-Frameworks'. In den Meisten Programmiersprachen existiert ein Unit-Framework mit dem es möglich ist direkt die im Programm angebotene Logik mit automatisierten Testfällen abzu prüfen. In der Praxis wird diese Aufgabe meist direkt vom Entwickler in Form von Unit-Tests (Komponenten-Tests) übernommen. Der Begriff 'XUnit-Frameworks' kann leicht missverstanden werden, da er impliziert, dass es sich bei den mit Hilfe des Frameworks umgesetzten Testfällen um Unit-Tests handelt. Tatsächlich können jedoch Testfälle

aller Teststufen, von Unit- bis System-Test, mit Hilfe dieser Frameworks umgesetzt werden. Die Testcodeerstellung erfolgt dabei meist Manuell womit diese Art der Automatisierung ein Beispiel für den oberen linken Quadranten in Abbildung 3.6 darstellt. Neben dem manuellen Vorgehen beschreiben Meszaros et al. [Mes03] auch die Möglichkeit ‘record-and playback‘ für Testfälle zu verwenden die als Schnittstelle die API verwenden. Hierfür muss eine ‘record-and playback‘ auf API-Ebene für die zu testende Software entwickelt werden. Darüber ist es dann möglich bei einem manuellem Testlauf all das aufzuzeichnen, was den Zustand des Systems beeinflusst. Diese Aufzeichnungen können dann später wieder als Eingaben verwendet werden. Dieses Vorgehen wäre ein Beispiel für den oberen mittleren Quadranten in Abbildung 3.6 ist jedoch nicht sehr weit verbreitet.

3.2.2.2. UI

Bei Testfällen die als Schnittstelle zum System das User-Interface verwenden ist laut Meszaros et al. [Mes03] ‘record-and playback‘ ein sehr weit verbreitetes Vorgehen. Hierfür existieren Zahlreiche kommerzielle Testwerkzeuge wie beispielsweise HP Unified Functional Testing [HP15], aber auch Open-Source-Lösungen wie beispielsweise Selenium [Sel15a]. Mit Hilfe dieser Tools ist es möglich Testfälle aufzuzeichnen. Die Testfälle werden dazu zunächst einmal manuell durchzuführen. Während dieser manuellen Testausführung können die vom Tester auf der Benutzeroberfläche getätigten Eingaben vom Tool gespeichert werden. Die gespeicherten Interaktionen werden dann verwendet um daraus Testcode zu generieren mit dem der aufgezeichnete Testfall beliebig oft wiederholt werden kann. Dieses Vorgehen wird in Abbildung 3.6 durch den unteren mittleren Quadranten abgebildet. Der untere linke Quadrant symbolisiert die von Hand geschriebenen Testfälle die als Schnittstelle das User-Interface verwenden. Oft handelt es sich dabei um Testfälle die analog zu Abschnitt 3.2.2.1 ein ‘XUnit-Frameworks‘ zur Testausführung verwenden. Diese Frameworks können um Aufsätze wie beispielsweise HttpUnit [Htt15] oder Selenium [Sel15a] erweitert werden. Mit Hilfe solcher Erweiterungen ist es möglich, die Testfälle nicht mehr nur gegen die API der zu testenden Software zu entwickeln sondern zur Steuerung die Benutzeroberfläche zu verwenden. Neben diesen Aufsätzen für vorhandene Frameworks existieren auch zahlreiche eigenständige Tools wie beispielsweise MicroFocus SilkTest [Sil15] welches neben Webanwendungen auch die Möglichkeit zum Testen von Denktopanwendungen bieten. Testcode von Hand zu schreiben ist ein weit verbreitetes Vorgehen. Vor allem immer dann, wenn kein vorhandenes Testtool verwendet wird sondern das Automatisierungsframework für die zu testende Software selbst entwickelt wurde.

3.2.3. Testdurchführung

Unter Testdurchführung versteht man das ausführen der Testfälle so wie das aufzeichnen von Testergebnissen bzw. Testausgaben. Nach den Erfahrungen von Amannejad et al. [Ama+14] ist dieser Bereich der Testautomatisierung derjenige, der von den meisten Tester am ehesten mit der Automatisierung verbunden wird. Die zuvor erstellten Testfälle müssen in dieser Phase des Testprozesses zur Ausführung gebracht werden. Die Möglichkeit zur Automatisierung hängt in diesem Schritt stark von den gewählten Methoden in den vorangegangenen Phasen des Testprozesses ab. Oft ist eine Automatisierung in diesem Schritt bereits ohne zusätzlichen Aufwand vorhanden. Vor allem immer dann, wenn der Testcode bereits Tool bzw. Framework unterstützt erstellt wurde. Die meisten Tools und Frameworks bieten eine automatisierte Testdurchführung bereits mit an. Im besonderen Maße sind an dieser Stelle auf Grund ihrer hohen Verbreitung die ‘XUnit-Frameworks’ zu nennen. In Abschnitt 3.2.2 wurde gezeigt, dass diese Frameworks oft in der manuellen Testcodeerstellung verwendet werden. Das Unit-Framework übernimmt dabei die automatisierte Ausführung und Präsentation der Testergebnisse der Testskripte. Es handelt sich daher um ein Framework, welches die Testdurchführung automatisiert. Problematisch wird die Testdurchführung nach eigenen Erfahrungen immer dann, wenn Testcode losgelöst von bereits vorhandenen Tools bzw. Frameworks entwickelt wird. Der Testcode könnte beispielsweise gekapselt in Funktionen vorliegen und seine Ergebnisse einfach in die Konsole loggen. Steigt die Anzahl der Testfälle an, wird die Ausführung und vor allem die Auswertung dieser Testfälle schnell zum Problem. Der Aufwand der betrieben werden muss um die Testfälle anhand ihrer Logmeldungen auszuwerten kann schnell so ansteigen, dass der Zeitaufwand dazu nicht mehr tragbar wird. Eine gesonderte Ausführung von einzelnen Testfällen bzw. kleineren Testfallgruppen ist in diesem Beispiel nur mit zusätzlichem Aufwand möglich. Werden Testfälle daher ohne Tool- bzw. Framework-unterstützung erstellt, muss sich früh darüber Gedanken gemacht werden, wie die Testfälle einfach und auswertbar zur Ausführung gebracht werden können. Diese Überlegungen resultieren meist in einem eigen entwickelten Testframework, welches die Ausführung und Auswertung des automatisierten Testcodes übernimmt.

3.2.4. Testauswertung

Nachdem die zu testende Software mittels eines Testfalls ausgeführt wurde muss bestimmt werden, ob der Testfall erfolgreich oder fehlerhaft war. Diese Prüfung kann manuell erfolgen. Handelt es sich jedoch um automatisierte Testfälle ist diese Prüfung meist über feste Akzeptanzkriterien direkt im Testfall hinterlegt. Im Fall von Testfällen deren Durchführung über

ein ‘XUnit-Frameworks‘ automatisiert wurde, werden diese Akzeptanzkriterien beispielsweise über sogenannte ‘Assertions‘ festgelegt. Um die erwarteten Ergebnisse für einen Testfall zu finden, werden sogenannte Testorakel verwendet. Jede Quelle die Auskunft über ein zu erwartendes Ergebnis gibt, kann als Testorakel dienen. Meist handelt es sich hierbei um Spezifikationen die manuell ausgewertet werden. Es gibt darüber hinaus aber auch zahlreiche Möglichkeiten und Versuche diese Testorakel zu automatisieren [MPS00] [RAO92] [SKM09]. Automatisierten Testorakel können dann wiederum für die Auswertung der Testergebnisse in den automatisierten Testfällen dienen. Eine manuelle Auswertung von Testorakeln kann so entfallen. Bereits mit fest hinterlegten Akzeptanzkriterien die manuell gefunden wurden gilt laut Amannejad et al. [Ama+14] die Testauswertung als automatisiert. Mittels automatischer Testorakel kann diese Automatisierung jedoch noch ein höheres Level an Intelligenz erreichen.

4. Testautomatisierung mit Selenium

Laut Seidel et al. [Sei12, vgl. S. 48] ist der am meisten verbreitete »Angriffspunkt« für Testautomatisierung die grafische Benutzerschnittstelle. Seidel et al. [Sei12, S. 48] nennen dafür folgende Gründe:

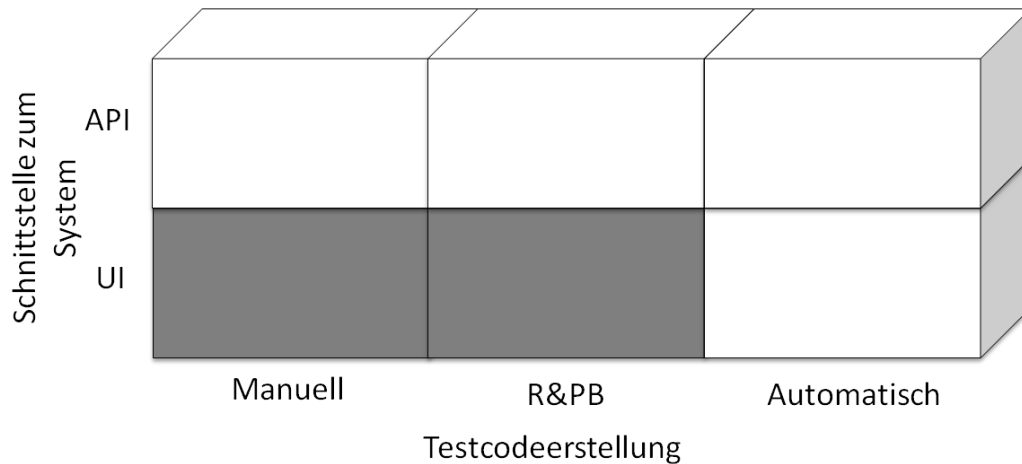
- „Sie ist für Tester und Automatisierer anschaulich und leicht greifbar.“
- „Sie stellt zumeist das Verhalten im realen Umfeld am besten nach.“
- „Die Dokumentation von Systemen ist auf dieser Ebene meist am vollständigsten.“
- „Der klassische Systemtest wird oft über diese Schnittstelle abgewickelt.“
- „Hinter der grafischen Benutzerschnittstelle liegende Systeme werden implizit getestet.“

Ein großer Teil der heutzutage entwickelten Anwendungen werden in Form einer Webapplikation realisiert. Im Bereich der Testautomatisierung die als Schnittstelle die grafische Benutzeroberfläche verwenden, stellen diese Webapplikation einen Sonderfall dar. Im Gegensatz zu gewöhnlichen Denktopanwendungen gibt es bei dieser Art von Anwendung laut Seidel et al. [Sei12, vgl. S. 88] „keinen spezifischen Client für eine Applikation, sondern einen generischen - den Browser.“ Dies schafft nach Seidel et al. [Sei12, vgl. S. 59] „für Werkzeuge eine sehr gute Basis, um auf die Elemente der Seite zuzugreifen.“ Die einzelnen HTML-Elemente und deren Attribute können verwendet werden um die Bestandteile einer Seite zu adressieren. Ein weit verbreitetes Tool für die Automatisierung, welches diesen Ansatz verfolgt ist Selenium [Sel15a].

4.1. Selenium

Seidel et al. [Sei12, S. 142] beschreiben Selenium als „eines der gängigsten Open-Source-Automatisierungswerkzeuge für Webapplikationen.“ Ordnet man Selenium der in Kapitel 3.2.2 gewählt Unterteilung der Testautomatisierung zu, befindet sich Selenium im unteren mittleren und unteren linken Quadranten. Abbildung 4.1 hinterlegt diese Bereiche farblich.

Selenium ist also ein Tool mit welchem Testfälle erstellt werden können die als Schnittstelle die grafische Benutzeroberfläche eine Webanwendung verwenden. Die Testfälle können dabei manuell programmiert oder über einen ‘record-and playback’-Mechanismus aufgezeichnet werden. Genau genommen handelt es sich bei Selenium aber nicht um ein einzelnes Tool,



Quelle: vgl. [Mes03]

Abbildung 4.1.: Einordnung von Selenium in die verschiedenen Möglichkeiten der Testcodeerstellung

sondern um eine Reihe von Tools die unter dem Namen Selenium zusammengefasst werden. In seiner aktuellen Ausprägung 2.x lassen sich, abgesehen von Komponenten die der Abwärtskompatibilität dienen, laut Dokumentation [Sel15b] drei Komponenten unterscheiden:

- Selenium IDE

Bei der Selenium IDE handelt es sich um ein Firefox plug-in, das verwendet werden kann um Selenium-Testscripte zu erstellen. Testscripte können dabei von Hand erstellt oder mittels eines ‘record-and playback’-Mechanismus direkt im Browser aufgezeichnet werden. Die erstellten Testfälle können mit Akzeptanzkriterien angereichert werden und innerhalb der IDE wieder abgespielt werden.

- Selenium WebDriver

Der Selenium WebDriver bietet für verschiedene Programmiersprachen eine API zur Steuerung eines Browsers aus dem Programmcode heraus. Der WebDriver bildet damit die Kernkomponente für alle Selenium-Testfälle die außerhalb der Selenium IDE entwickelt werden.

- Selenium Server/Grid

Mit Hilfe des Selenium Servers ist es möglich Selenium-Testfälle nicht nur auf dem eigenen Rechner auszuführen sondern die Ausführung auf einen Server auszulagern. Einen wichtigen Teil des Selenium Server bildet Selenium Grid. Selenium Grid bietet die Möglichkeit die Ausführung von Selenium-Testfällen über einen Server hinaus auf eine Vielzahl von Knoten zu verteilen. Selenium Server dient dann als Hub der die Testfallanfragen auf Registriert Knoten zur Ausführung weiterleitet.

4.2. Testdurchführung mit Selenium

Abhängig davon ob die Testfälle für die Selenium IDE entwickelt wurden oder sich auf den Selenium WebDriver stützen unterscheiden sich die Möglichkeiten zur Ausführung der Testskripte.

Testfälle die mit der Selenium IDE entwickelt wurden verwenden eine Selenium eigene Sprache mit dem Namen ‘Selense’. Diese Testfälle können in späteren Testläufen wieder über die Selenium IDE zur Ausführung gebracht werden.

Dem gegenüber stehen Testfälle die den Selenium WebDriver verwenden. Testfälle die mittels Selenium WebDriver entwickelt wurden sind für ihre Ausführung nicht an ein spezielles Tool gebunden. Beim WebDriver handelt es sich um eine API mit deren Hilfe ein Browser ferngesteuert werden kann. Wie diese API in die Testfälle integriert wird ist dem Entwickler selbst überlassen. In der Praxis hat sich als Best Practice jedoch herausgestellt, dass Selenium-Testfälle, die den WebDriver verwenden, meist in Verbindung mit einem Unit Testing Framework entwickelt werden. Im Java Umfeld wären hier beispielsweise JUnit oder TestNG zu nennen. Die Testfälle können damit analog zu den klassischen Unit Tests entwickelt werden, verwenden jedoch als Schnittstelle zum System nicht die API sondern, über den WebDriver, die Benutzeroberfläche. Die Ausführung der Testfälle erfolgt dann analog zu den klassischen Unit Tests über das Unit Testing Framework. Im Bereich des WebDrivers stützt sich Selenium also auf bereits sehr gut etablierte Frameworks. Das hat den Vorteil, dass die so erstellten Testfälle bereits in den meisten Programmiersprachen gut in die Infrastruktur integriert sind. In Java sind Testfälle die mittels JUnit ausgeführt werden in allen gängigen IDEs durch Plugins unterstützt. Noch viel wichtiger ist jedoch eine gute Integration der Testfälle in den Buildprozess. Werden beispielsweise in Java Standardtools wie Gradle oder Maven zum bauen der Projekte verwendet, können die Testfälle ohne Mehraufwand im Rahmen des Buildprozesses ausgeführt werden.

4.3. Testcodeerstellung mit Selenium

Die Testcodeerstellung von Testfällen die Selenium verwenden kann auf zwei Arten erfolgen. Testcode kann Manuell erstellt werden oder über einen ‘record-and playback’-Mechanismus teilautomatisiert generiert werden.

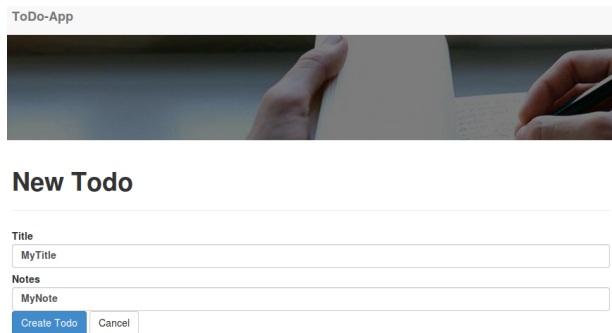
4.3.1. Recorde-and-playback

Die Selenium IDE bietet die Möglichkeit Testskripte mittels ‘record and playback’ zu erzeugen. Die im Testfall gewünschten Abläufe können dabei einfach im Browser abgearbeitet werden. Die durchgeführten Schritte werden von der Selenium IDE in der Selenium eigenen Sprache ‘Selenium’ aufgezeichnet. Diese Aufzeichnungen können später von der Selenium IDE interpretiert werden um so die Testabläufe erneut zu wiederholen. Testskripte können nach dem Aufzeichnen nachträglich überarbeitet werden. Damit können beispielsweise Akzeptanzkriterien an bestimmten Stellen im Testablauf eingearbeitet werden.

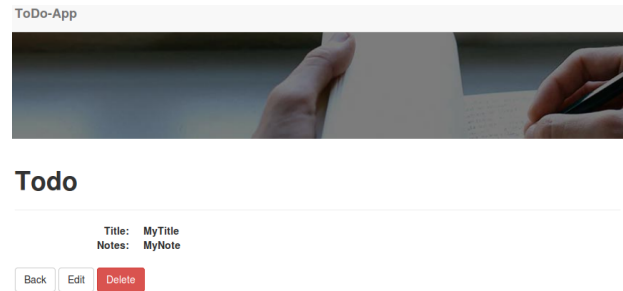
Testfälle die über den ‘record-and playback’-Mechanismus erstellt wurden sind nicht an die Sprache ‘Selenium’ gebunden. Die Selenium IDE bietet die Möglichkeit die Testskripte in eine Reihe von Programmiersprachen zu exportieren. Darunter beispielsweise auch Java. Diese Testfälle benutzen dann wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, den Selenium Webdriver für die Kommunikation mit dem Browser und ein Unit Testing Framework für die Ausführung.

Die ‘record and playback’-Funktionalität bietet eine besonders einfache und schnelle Möglichkeit um Testfälle zu erstellen. Dennoch wird in der Dokumentation von Selenium [Sel15b] davon abgeraten sich bei der Testfallerstellung alleine auf dieses Tool zu stützen. Die Selenium IDE wird als Prototyping-Tool verstanden mit dem kleine Aufgaben, die nicht für den längerfristigen Einsatz gedacht sind, schnell automatisiert werden können. Testabläufe die über den ‘record-and playback’-Mechanismus in der IDE erstellt werden unterliegen eine Reihe von Limitierungen. Leotta et al. [Leo+13] nennen als Limitierungen dieser Testfälle das fehlen von bedingten Anweisungen, Schleifen, Logging, Ausnahmebehandlungen so wie parametrisierten (a.k.a. data-driven) Testfällen. Neben diesen Limitierungen haben die Testfälle zusätzlich das Problem, dass sie eine schlechte Wartbarkeit aufweisen. Nach Leotta et al. [Leo+13] liegt das vor allem daran, dass die Testfälle sehr stark mit der Struktur der Webseiten verwoben sind und einen hohen Anteil an dupliziertem Code aufweisen. Die Limitierungen der IDE können zwar durch das Exportieren der Testfälle in eine Programmiersprache überwunden werden, die Qualität der Testfälle im Bezug auf ihre spätere Wartbarkeit kann nach Leotta et al. [Leo+13] auf diesem Wege jedoch nicht verbessert werden.

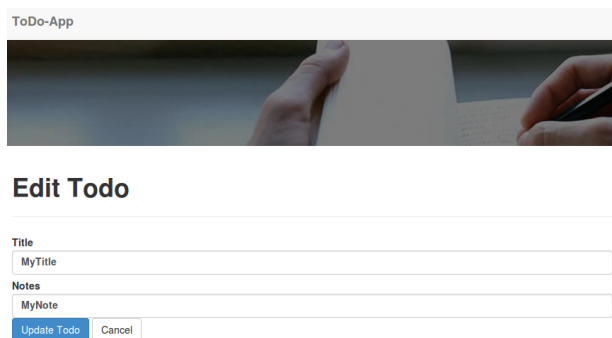
Um die starke Verwobenheit mit der Webanwendung und den hohen Anteil an dupliziertem Code zu veranschaulichen wurden zwei Testfälle über den ‘record-and playback’-Mechanismus von Selenium erstellt und in die Programmiersprache Java exportiert. Die Beiden Testfälle sollen das anlegen und editieren eines Datensatzes auf einer einfachen Web-Anwendung überprüfen. Drei Seiten der Webanwendung werden für diesen Testfall verwendet. Die Seiten sind in Abbildung 4.2 dargestellt.



(a) Anlegen eines neuen Datensatzes



(b) Anzeigen eines Datensatzes



(c) Editieren eines Datensatzes

Abbildung 4.2.: Anlegen, editieren und anzeigen eines neuen Datensatzes

Zur besseren Lesbarkeit wurden die Testfälle im Listing 4.1 leicht überarbeitet, in ihrem Wesen jedoch nicht verändert.

Listing 4.1: Exportierte Testfälle

```

1  /**
2   * Testfall legt einen neuen Datensatz an.
3   */
4   @Test
5   public void testCreateNewRecord() {

```

```
6     WebDriver driver = new FirefoxDriver();
7     driver.get("http://localhost:3000/todos/new");
8     driver.findElement(By.id("todo_title")).sendKeys("MyTitle");
9     driver.findElement(By.id("todo_notes")).sendKeys("MyNote");
10    driver.findElement(By.name("commit")).click();
11
12    assertEquals("MyTitle", driver.findElement(By.id("title")).getText());
13    assertEquals("MyNote", driver.findElement(By.id("note")).getText());
14 }
15
16 /**
17  * Testfall legt einen neuen Datensatz an und editiert ihn.
18  */
19 @Test
20 public void testEditRecord() {
21     WebDriver driver = new FirefoxDriver();
22     driver.get("http://localhost:3000/todos/new");
23     driver.findElement(By.id("todo_title")).sendKeys("MyTitle");
24     driver.findElement(By.id("todo_notes")).sendKeys("MyNote");
25     driver.findElement(By.name("commit")).click();
26     driver.findElement(By.linkText("Edit")).click();
27     driver.findElement(By.id("todo_title")).clear();
28     driver.findElement(By.id("todo_title")).sendKeys("MyTitleEdit");
29     driver.findElement(By.id("todo_notes")).clear();
30     driver.findElement(By.id("todo_notes")).sendKeys("MyNoteEdit");
31     driver.findElement(By.name("commit")).click();
32
33     assertEquals("MyTitleEdit", driver.findElement(By.id("title")).getText());
34     assertEquals("MyNoteEdit", driver.findElement(By.id("note")).getText());
35 }
```

Die Testfälle für das Anlegen und Editieren sind in ihren Abläufen recht ähnlich. Beide Testfälle legen zunächst einen neuen Datensatz in der Anwendung an. Die Logik die hierfür verwendet wird ist in beiden Testfällen dupliziert worden. Das ist nicht nur ein Problem dieses Beispiels sondern ein Problem, dass durchaus hohe Praxisrelevanz hat. In den meisten Testabläufen finden sich wiederkehrende Aufgaben, wie beispielsweise einen Login, der nicht nur von einem Testfall benötigt wird. Selbst wenn sich die Abläufe zwischen den Testfällen

stark unterscheiden werden Elemente, z.B. Input-Felder, die von der Anwendung angeboten werden in der Regel nicht nur einmal benutzt. Das führt zwangsläufig dazu, dass die Logik zum adressieren dieser Felder in einer Vielzahl von Testfällen dupliziert wird.

Die Adressierung der Elemente in der Anwendung bedingt auch die hohe Koppelung der im Listing 4.1 gezeigten Testfälle mit den Seiten der Anwendung die Leotta et al. [Leo+13] als weiters problem identifiziert haben. Die Selektoren die verwendet werden um die Elemente der Webanwendung anzusteuern sind direkt in den Testfall eingearbeitet. Änderungen an der Seitenstruktur der Anwendung haben damit direkten Einfluss auf die Testfälle.

Obwohl sich die eigentliche Testfallspezifikation durch eine Änderung in der Seitenstruktur nicht ändert, müssen die Testfälle trotzdem überarbeitet werden. Der duplizierter Code und der hohe Grad an Koppelung mit der Anwendung innerhalb der Testfälle bedingen, dass selbst kleine Änderungen in der zu testenden Anwendung, Korrekturen an vielen Stellen in den Testfällen nötig machen.

4.3.2. Manuell

Eine weitere Möglichkeit bildet das manuelle Erstellen der Testskripte. Für die Ausführung und die Kommunikation mit der Anwendung verwenden die manuell erstellten Skripte das selbe Toolset wie die generierten und exportierten Testfälle aus der ‘record-and playback’-Variante. Analog zu den in Listing 4.1 gezeigten Testfällen wird der Selenium WebDriver für die Kommunikation mit der Anwendung verwendet. Die Ausführung geschieht über ein Unit Testing Fraemwork. Im Vergleich zu den halbautomatisch generierten Testfällen ist das manuelle entwickeln der Testskripte aufwändiger. Es bietet jedoch die Möglichkeit die in Abschnitt 4.3.1 genannten Problemen der ‘record-and playback’-Variante entgegenzuwirken. Bei einem manuellen Ansatz kann von Anfang an auf eine wartbare und wiederverwertbare Struktur in den Testfällen geachtet werden. Als best practice hat sich zu diesem Zwecke das Page Object Design Pattern durchgesetzt.

4.3.3. Page Object Pattern

Im Page Object Pattern wird versucht die Funktionalität welche die zu testende Anwendung anbietet in einem objektorientierten Ansatz zu kapseln. Alle Seiten der zu testenden Anwendung werden dazu als Objekte Modelliert. Auf diese Weise wird die Funktionalität die von einer Seite angeboten wird zu einem Service, beispielsweise einer Methode, die von dem korrespondierendem Page Object angeboten werden. Alle Informationen und Funktionalität die von einer Seite angeboten werden sind so zentral gekapselt. Ein Page Objekt ist also eine

objektorientierte Klasse die als Interface für eine Seite der zu testenden Anwendung dient. Sämtliche Interaktion mit der zu testenden Anwendung geschieht über die in den Page Objekten angebotenen Schnittstellen. Änderungen an der Oberfläche der zu testenden Anwendung haben so keinen direkten Einfluss mehr auf die Testfälle. Bei Änderungen an der Benutzeroberfläche muss nur noch Code an einer Stelle innerhalb der Page Objekte angepasst werden. Um das Zusammenspiel zwischen Page Objekten und Testfall besser zu verdeutlichen wurde der Testfall zum anlegen eines neuen Eintrags aus Listing 4.1 im Page Object Pattern nachgebaut.

Der Testfall arbeitet mit zwei Seiten der Anwendung. Die Seiten sind in Abbildung 4.2 dargestellt. Für jede der beiden Seiten wird ein Page Object als Kommunikationsschnittstelle benötigt. Das Page Object CreatePage in Listing 4.2 repräsentiert die Seite zum anlegen eines neuen Datensatzes (Abbildung 4.2 a). Das Page Object ShowPage in Listing 4.3 repräsentiert die Seite zum anzeigen eines Datensatzes (Abbildung 4.2 b).

Listing 4.2: Page Object CreatePage

```
1  public class CreatePage extends BasePo {
2      public final Control tfTodotitle = control(by.textField("todo_title"));
3      public final Control tfTodonotes = control(by.textField("todo_notes"));
4      public final Control bCreateTodo = control(by.button("commit"));
5
6      public CreatePag(PageObject po) {
7          super(po);
8      }
9      public ShowPage createEntry(String title, String note){
10         tfTodotitle.sendKeys(title);
11         tfTodonotes.sendKeys(note);
12         bCreateTodo.click();
13         return new ShowPage(this);
14     }
15 }
```

Listing 4.3: Page Object ShowPage

```
1  public class ShowPage extends BasePo {
2      public final Control idTitle = control(by.id("title"));
3      public final Control idNotes = control(by.id("note"));
4  }
```

```
5     public ShowPage(PageObject po) {  
6         super(po);  
7     }  
8 }
```

Die Funktionalitäten die von den jeweiligen Seiten angeboten werden sind innerhalb des Page Objects gekapselt. Das Page Object `CreatPage` bietet beispielsweise die Eingabefelder für Titel und Note so wie den Button zum anlegen eines Datensatzes als globale Objekte von Typ `Control` an. Die Klasse `Control` dient in den dargestellten Page Objekten als Wrapper für den Selenium `WebDriver`. `Control`-Objekte sind also analog zu Selenium `WebElement`en zu verstehen. Die Funktionalität zum anlegen eines neuen Eintrags die im späteren Testfall benötigt wird bietet das Page Objekt `CreatPage` als Service-Methode `'createEnty()'` an.

Der Testfall in Listing 4.4 verwendet die Beiden Page Objekte um einen neuen Eintrag in der Anwendung anzulegen und zu überprüfen.

Listing 4.4: Page Object Testfall

```
1  /**  
2   * Testfall legt einen neuen Datensatz an.  
3   */  
4   @Test  
5   public void testCreateNewRecord(){  
6       CreatePage createPage = new CreatePage(po);  
7       ShowPage showPage = createPage.createEntry("MyTitle", "MyNote");  
8  
9       assertEquals("MyTitle", showPage.idTitle.resolve().getText());  
10      assertEquals("MyNote", showPage.idNotes.resolve().getText());  
11  }
```

Im Gegensatz zum Testfall in Listing 4.1 ist es auf Grund des Page Object Pattern nicht mehr nötig explizite Referenzen auf die Struktur der Seite innerhalb der Testfälle zu machen. Alle Details der Seite sind innerhalb der Page Objekte gekapselt. Der Testfall verwendet lediglich die im Page Object angebotenen Funktionalität.

4.3.3.1. Vorteile des Page Object Pattern

Folgende Vorteile ergeben sich damit bei der Verwendung des Page Object Pattern die auch so in der Selenium Dokumentation [Sel15c] angegeben werden:

1. Es gibt eine klare Trennung zwischen Testcode und seitenspezifischem Code wie beispielsweise Elementadressierungen und Layout.

Die Adressierung der Elemente ist nicht mehr über die gesamten Testfälle verteilt sondern befindet sich an einer zentralen Ort, dem Page Object. Die hohe Koppelung der Testfälle mit den Seiten der Anwendung die Leotta et al. [Leo+13] als Problem genannt haben kann somit überwunden werden.

2. Es gibt einen einzigen Ort für die Elemente und Operationen die von einer Seite angeboten werden.

Alle Informationen die eine Seite der Anwendung betreffen sind an einem zentralen Ort, dem Page Object gesammelt. Seitenspezifischer Code muss somit nicht mehr in den einzelnen Testfällen dupliziert werden. Die Funktionalitäten der Seite können über das entsprechende Page Object abgerufen werden.

Beide Vorteile führen dazu, dass Änderungen die an einer Seite gemacht werden nur Auswirkungen an einem zentralen Stelle haben. Die Wartbarkeit der gesamten Testfälle wird so erhöht. Leotta et al. unterstützen diese These mit einer Fallstudie [Leo+13] in der Sie eine herkömmliche Testsuite mit einer Testsuite die das Page Object Pattern implementiert hinsichtlich ihrer Wartbarkeit verglichen haben. Das Ergebnis dieser Studie hat gezeigt, dass in Ihrem Fall die Zeit für die Wartung der Testfälle um ca. 65% reduziert werden konnten. Die Anzahl der anzupassenden Codezeilen konnte um ca. 87% reduziert werden.

4.3.3.2. Probleme des Page Object Pattern

Die Vorteile des Page Object Pattern kommen allerdings mit einem Preis. Die Komplexität des gesamten Testprojekts steigt. Testfälle können nicht mehr beliebig programmiert werden sondern sind in den Kontext von Page Objekts zu stellen. Das erfordert tiefgründige Designentscheidungen. So ist beispielsweise zu klären wie über die Page Objekts ein generischer Einstieg in die Anwendung angeboten werden kann oder wie der WebDriver über mehrere Page Objekts und Testfälle hinweg verwaltet werden kann. Auch die Page Objects selbst

müssen erst einmal entwickelt werden bevor mit dem erstellen von Testfällen begonnen werden kann.

Verglichen mit einem herkömmlichen Ansatz steigt mit der Verwendung des Page Object Pattern zu Beginn also der Aufwand beim erstellen eines Testprojektes. Leotta et al. [Leo+13] haben gezeigt, dass sich diese Investition durchaus lohnen kann, initial sind die Kosten allerdings höher.

5. Teilautomatisierte Generierung von Page Objects

Ein großer Teil des in Kapitel 4.3.3.2 angesprochenen initialen Mehraufwands bei der Verwendung des Page Object Pattern beläuft sich auf die Erstellung der Page Objects. Wie in Listing 4.2 und 4.3 zu sehen ist, handelt es sich bei Page Objects jedoch um wenig komplexe Klassen. In der Praxis zeigt sich, dass ein Großteil der Arbeit darin besteht die verschiedenen Locatoren der Elemente aus dem Quelltext der Seite zu extrahieren und in die generische Form eines Page Objects zu überführen. Diese Arbeit kostet zwar viel Zeit, ist allerdings nicht sehr anspruchsvoll. Möchte man den initialen Mehraufwand bei der Verwendung des Page Object Pattern entgegenwirken bieten die Page Objects somit einen guten Ansatzpunkt. Ihre Erstellung ist zeitaufwendig und weitestgehend generisch. Gute Voraussetzungen also, um das Erzeugen der Page Objects zu Automatisieren.

5.1. Übersicht über die Idee

Selenium in Verbindung mit dem Page Object Pattern ist auch ein Teil des Technologiestacks des IT-Dienstleisters (it@M) der Landeshauptstadt München und wird dort zum testen komplexer Webanwendungen verwendet. Auch bei it@M hat man in Bezug auf die Erstellung von Page Objects die Erfahrungen gemacht, dass es sich um eine generische und zeitaufwendige Arbeit handelt. In Zusammenarbeit mit it@M wurde daher die Idee entwickelt, das Erstellen von Page Objects mit Hilfe einer Softwarelösung zu unterstützen. Anhand des Seitenquelltextes der zu testenden Webanwendung sollen die verschiedenen Elemente des Page Objects identifiziert und zur Generierung der Page Objects verwendet werden. Zwei Ansätze wurden dabei diskutiert. Eine vollautomatisierte Generierung von Page Objects und eine teilautomatisierte Generierung. Ein vollautomatischer Ansatz würde beinhalten, dass für einen übergebenen Seitenquelltext ohne weiteres Zutun ein vollständiges Page Object generiert wird. Dieser Ansatz hat jedoch mit zahlreichen Problemen zu kämpfen. Oft wird nur ein Bruchteil der Elemente einer Webseite für die Testfälle benötigt. Selenium kann aber

prinzipiell jedes Element, dass im Seitenquelltext bereitgestellt wird, ansprechen. Bei einer vollautomatischen Generierung müssten daher entweder alle Elemente einer Seite übernommen oder eine definierte Auswahl getroffen werden. Wird eine Auswahl getroffen besteht das Risiko, dass Elemente ausgelassen werden die vom Tester möglicherweise benötigt werden. Werden alle Elemente übernommen, werden die Page Objects schnell überladen und unübersichtlich. Das Überladen der Page Objects geschieht dann auf Kosten der Robustheit. Strukturelle Änderungen in der Website wirken sich auch auf die Locatoren der Elemente in den Page Objects aus. Um die Page Objects stabil zu halten, müssen diese bei Änderungen in der Seitenstruktur berichtigt werden. Es ist daher nicht sinnvoll Elemente in den Page Objects zu pflegen, die nicht verwendet werden. Unbenutzte Elemente bedeuten entweder zusätzlichen Wartungsaufwand oder veralten unbemerkt. Ein weiteres Problem des vollautomatischen Ansatzes stellen die Übergänge zwischen den Seiten einer Webanwendung dar. Interaktionen mit der Webanwendung wie beispielsweise das betätigen eines Button führen oft zum aufrufen einer neuen Seite der zu testenden Webanwendung. Im weiteren werden diese Übergänge als Transitionen bezeichnet. Diese Transitionen werden optimalerweise auch in den Page Objects abgebildet. Das Page Object gibt dazu das entsprechende Page Object der Zielseite als Rückgabe eines Methodenaufrufs der Startseite zurück, wie es beispielsweise in der Methode `CreatePage.createEntry()` im Listing 4.2 gezeigt ist. Allein aus dem Seitenquelltext zu ermitteln welche Seite das Ziel einer Transition ist erweist sich jedoch oft als sehr schwierig bis unmöglich. Um die Komplexität des Projektes auf Grund der genannten Probleme nicht zu groß werden zu lassen, wurde sich für eine teilautomatisierte Lösung entschieden. Ziel ist es also nicht, automatisch ein vollständiges Page Object zu generieren sondern den Entwickler bei der Generierung der Page Objects zu unterstützen. Anhand des Quelltextes sollen dem Entwickler die möglichen Elemente der Seite in einer Vorauswahl bereitgestellt werden. Aus diesen Elementen können dann diejenigen ausgewählt werden, die vom Entwickler im späteren Page Object benötigt werden. Auf diese Weise wird eine Überladung der Page Objects verhindert und gleichzeitig sichergestellt, dass die Elemente vorhanden sind, die benötigt werden. Ob es sich bei einem Element um eine Transition handelt, also ein Element welches auf eine neue Seite führt, muss nicht mehr automatisch anhand des Quelltextes ermittelt werden sondern kann vom Entwickler direkt bei der Auswahl der benötigten Elemente mit angegeben werden. Die so vom Entwickler ausgewählten Informationen können dann verwendet werden um daraus das fertige Page Object zu generieren. Im Rahmen des Projektes SeleniPo soll dieser Ansatz in Zusammenarbeit mit it@M in Form einer Denktopanwendung umgesetzt werden.

5.2. Abgrenzung zu bestehenden Ansätzen

Sowohl für die vollautomatische Generierung von Page Objects als auch für eine teilautomatisierte Generierung gibt es bereits mögliche Lösungsansätze. Stocco et al. [Sto+15] beschreiben in einem Paper das von ihnen entwickelte Framework APOGEN mit deren Hilfe Page Objects vollautomatisch generiert werden können. Die Generierung der Page Objects geht dabei weit über das Anlegen von Elementen hinaus und schließt auch die Funktionalitäten der einzelnen Webseiten in Form von Methoden mit ein. Das Framework analysiert dazu die Struktur der Webanwendung mittels eines Crawlers. Die Informationen die über den Crawler zusammengetragen wurden, wie beispielsweise das DOM der einzelnen Webseiten, werden anschließend über eine statische Analyse aufbereitet und für die Generierung der Page Objects verwendet. Nach Angaben der Forschungsgruppe sollen ca. 75% des von APOGEN generierten Codes ohne Anpassungen verwendet werden können. Die restlichen 25% benötigen nur kleine Änderungen. Bei APOGEN handelt es sich jedoch um ein noch sehr junges Projekt. Das Paper zu diesem Projekt wurde im Mai 2015 veröffentlicht. APOGEN ist daher eher einen Prototyp der zwar die Möglichkeiten aufzeigt die in diesem Bereich gegeben sind, jedoch noch nicht für den produktiven Einsatz in einem großen Unternehmen geeignet ist. Nach eigenen Angaben leidet das Projekt noch unter einigen Einschränkungen. Eine der genannten Einschränkungen ist die Limitierung durch den Crawler. APOGEN kann nur Webseiten in Page Objects umwandeln, die auch durch den Crawler erreicht wurden. Für einfache Webanwendungen stellt das kein großes Problem da, für sehr komplexe Anwendungen mit einer ausgeprägten logischen Validierung allerdings schon. Viele Seiten die hinter logisch validierten Eingaben liegen können vom Crawler nicht erreicht werden und stehen somit für die Generierung nicht zur Verfügung.

Neben der vollautomatischen Generierung existieren noch eine Reihe von Open-Source-Frameworks die einen teilautomatisierten Ansatz verfolgen, ähnlich wie es das Projekt Selnei-Po erreichen will. Stocco et al. [Sto+15] nennen in ihrem Paper die drei derzeit wichtigsten Vertreter:

- *OHMAP* [vir15]: Bei OHMAP handelt es sich um eine online Webseite die es dem Benutzer erlaubt HTML-Code in eine Textarea zu kopieren. Aus dem übergebenen HTML-Code generiert das Tool eine einfache Java-Klasse die für jedes gefundene Input-Feld ein WebElement enthält. Die Variablennamen werden dabei aus den HTML-Attributen gebildet. Als Locator wird ein einfacher XPath-Ausdruck verwendet.
- *SWD Page Recorder* [Dmy15]: Der SWD Page Recorder ermöglicht es dem Benut-

zer eine beliebige Webanwendung zu starten und das GUI der Anwendung mit einem click&record-Mechanismus zu inspizieren. Nach jedem Klick auf das Interface der Anwendung wird ein Drop-down-Menü angezeigt in welches manuell ein Name für das ausgewählte Element eingetragen werden kann. Als Locator wird ein einfacher XPath-Ausdruck generiert. Das so erstellte Modell der Anwendung kann in verschiedene Sprachen exportiert werden, wie beispielsweise Java, C#, Rython, Ruby oder Perl. Beim SWD Page Recorder handelt es sich um eine .NET Anwendung.

- *WTF PageObject Utility Chrome Extension* [DL15]: WTF unterstützt den Entwickler beim erstellen von Page Objects indem Locatoren der Form id, name, CSS oder XPath erstellt werden. Der generierte Code ist in Python.

Der Technologiestack von it@M sieht eine Entwicklung der Selenium-Testfälle in Java vor. Als Betriebssystem kommt darüber hinaus Linux zum Einsatz. Zwei der genannten Lösungsansetzen scheiden daher von vornherein für den produktiven Einsatz beim externen IT-Dienstleister der Landeshauptstadt München aus. Beim SWD Page Recorder handelt es sich um eine .NET Anwendung die nur schwer unter Linux betrieben werden kann. Die WTF PageObject Utility Chrome Extension kann nur im Python-Umfeld betrieben werden. OHMAP wäre aus technischer Sicht eine mögliche Lösungsalternative. Allerdings sind Komfort und Umfang der Anwendung aus Sicht von it@M nicht ausreichend. Ohne eigne Konfiguration ist es mit OHMAP nur möglich input-Felder zu extrahieren. Darüber hinaus muss der HTML-Quelltext händisch aus der zu testenden Anwendung extrahiert werden.

Sowohl OWAP als auch der SWD Page Recorder haben zusätzlich das Problem, dass die erzeugten XPath ausdrücke oft sehr einfach gewählt werden und damit sehr stark von der Position der Element innerhalb der Seite abhängig sind. Die eigentlichen Charakteristika der Elemente werden somit oft nicht beachtet. Listing 5.1 zeigt einen solche von OHMAP generierten XPath.

Listing 5.1: Einfacher XPath-Locator des Projektes OHMAP

```
1  public class YourPageObjectName {
2      //...
3      @FindBy(xpath = "/html/body/div/div[1]/div[1]/h1/a[2]")
4      public WebElement followVirtuetechnikGmbH;
5      //...
6  }
```

Der zu adressierende Link in Listing 5.1 wird alleine über seine Position innerhalb des DOM der Seite bestimmt. Um den Locator zu zerstören würde es genügen ein weiteres div-Tag vor dem Link einzufügen.

Negativ ist an allen gezeigten Lösungen darüber hinaus, dass sie immer nur ein Page Object auf einmal betrachten. Transitionen, also Übergänge zwischen den einzelnen Webseiten der zu testenden Anwendung, werden somit nicht beachtet. Die dynamische Komponente der Anwendung wird beim generieren der Page Objects außer acht gelassen und muss nachträglich händisch hinzugefügt werden.

Mit SeleniPo soll der Versuch unternommen werden die Schwachstellen der bereits existierenden Lösungsansätzen zu verbessern und eine plattformunabhängige Lösung zu schaffen, die in der IT-Infrastruktur von it@M betrieben werden kann.

5.3. SeleniPo - Page Object Generator

Abbildung 5.1 zeigt die Denktopanwendung (Page Object Generator) die im Rahmen des Projektes SeleniPo entwickelt wurde. Mit Hilfe dieser Anwendung ist es möglich Page Objects teilautomatisiert zu generieren. Die Anwendung bietet dazu die Möglichkeit einen Browser zu starten und über vorgefertigte Selektoren die Webanwendung nach benötigten Elementen bzw. Transitionen zu durchsuchen. Auf diese Weise kann ein Modell der Anwendung erstellt werden, dass zur Generierung der Page Objects verwendet wird.

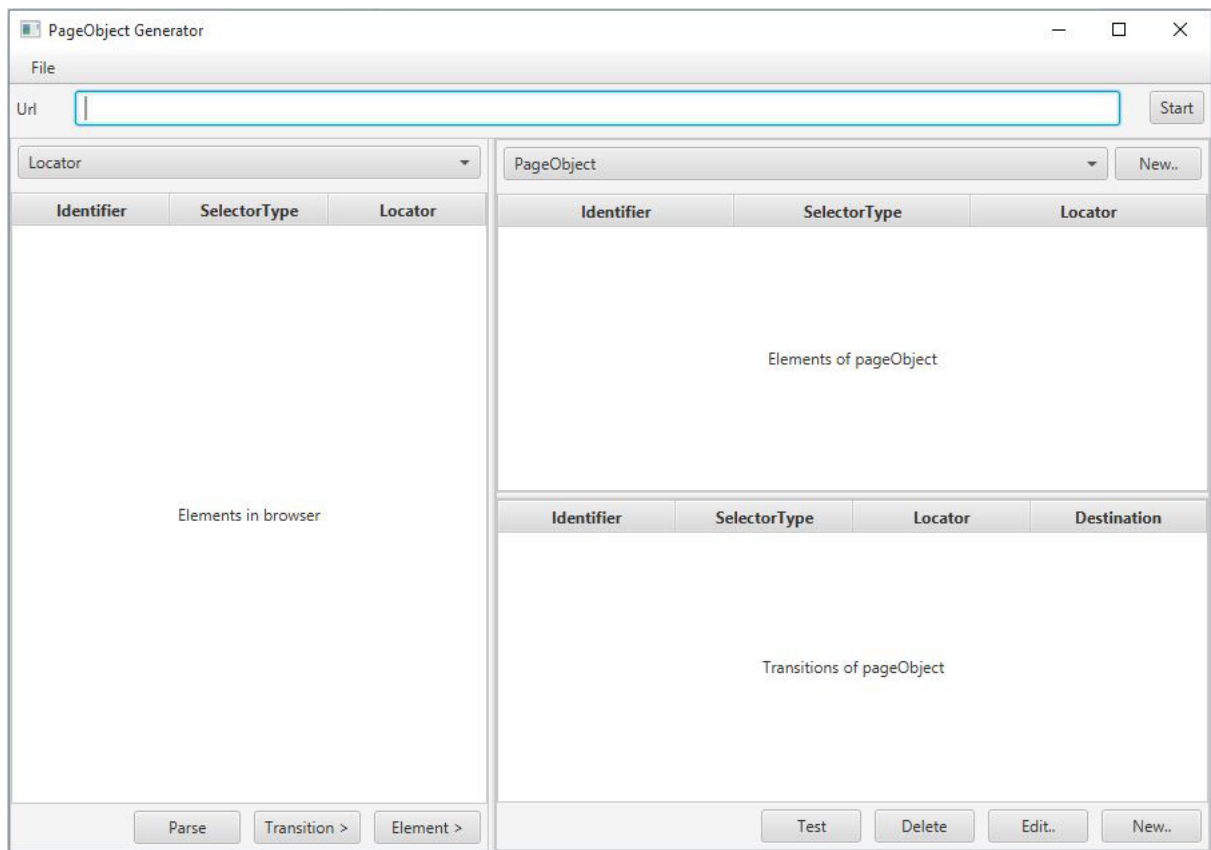


Abbildung 5.1.: SeleniPo - Page Object Generator

Das Interface des Page Object Generators teilt sich in drei Bereiche:

- Das aktuelle Page Object Modell (Abbildung 5.2)
- Den HTML-Parser (Abbildung 5.3)
- Das Menü (Abbildung 5.4)

Abbildung 5.2 zeigt den Bereich des Generators mit dem das aktuelle Page Object Modell der zu testenden Anwendung verwaltet werden kann. Mit diesem Bereich der Anwendung können neue Page Objects angelegt und bearbeitet werden. Elemente und Transitionen können manuell hinzugefügt, editiert oder gelöscht werden. Darüber hinaus bietet Die Anwendung die Möglichkeit existierende Elemente und Transitionen auf ihre Richtigkeit zu testen.

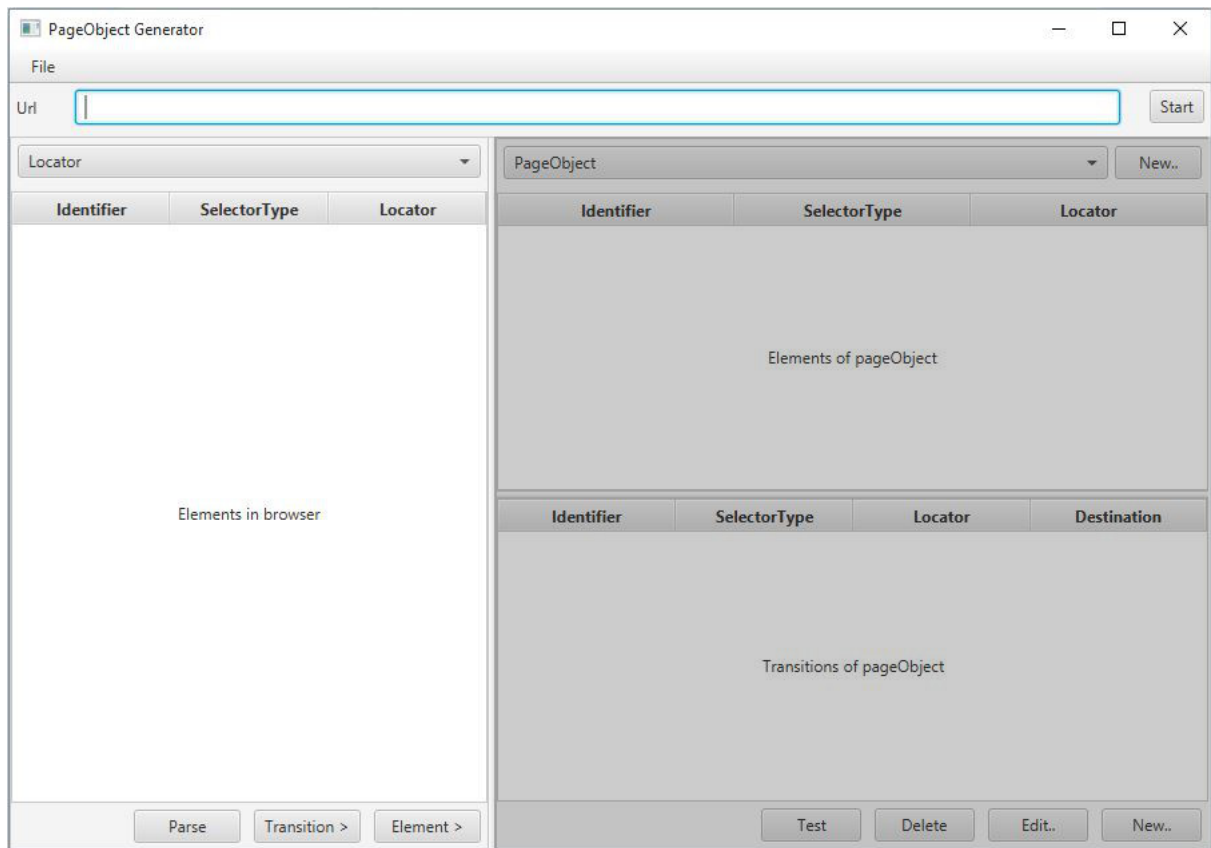


Abbildung 5.2.: SeleniPo - Page Object Generator - Page Object Model

Abbildung 5.3 zeigt den Bereich des Generators mit dem der Entwickler bei der Erstellung von Elementen und Transitionen im Page Object unterstützt werden kann. Über den Button Start kann ein Browser gestartet werden. Über das Locator-Drop-down kann dann über vorgefertigte Selektoren die aktuell im Browser dargestellte Webseite nach Elementen bzw. Transitionen durchsucht werden. Im Page Object benötigte Elemente und Transitionen können dann in das ausgewählte Page Object im Page Object Modell übernommen werden.

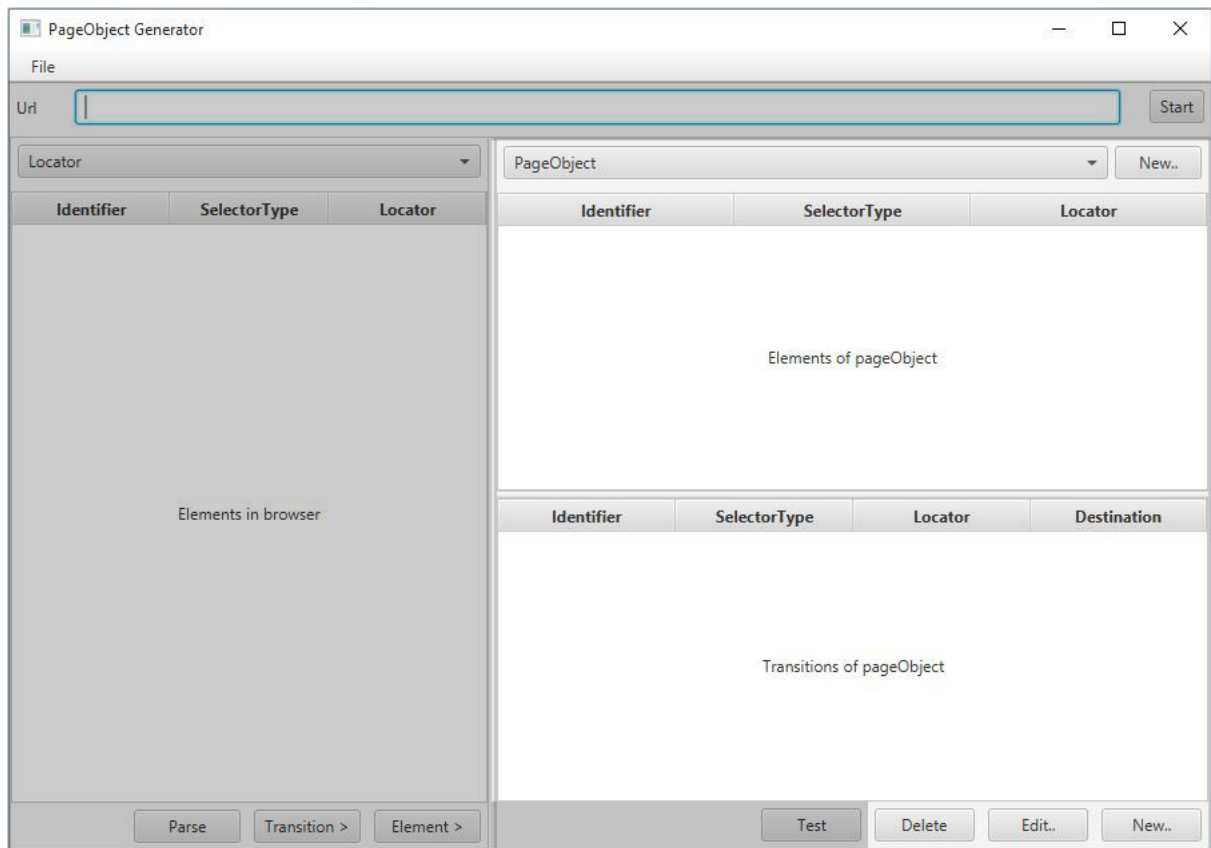


Abbildung 5.3.: SeleniPo - Page Object Generator - Html Parser

Abbildung 5.4 markiert das Menü des Page Object Generator. Mit Hilfe des Menüs können Zwischenstände des Page Object Modells gespeichert und geladen werden. Über das Menü kann auch die Generierung der Page Objects aus dem aktuell geladenen Modell gestartet werden.

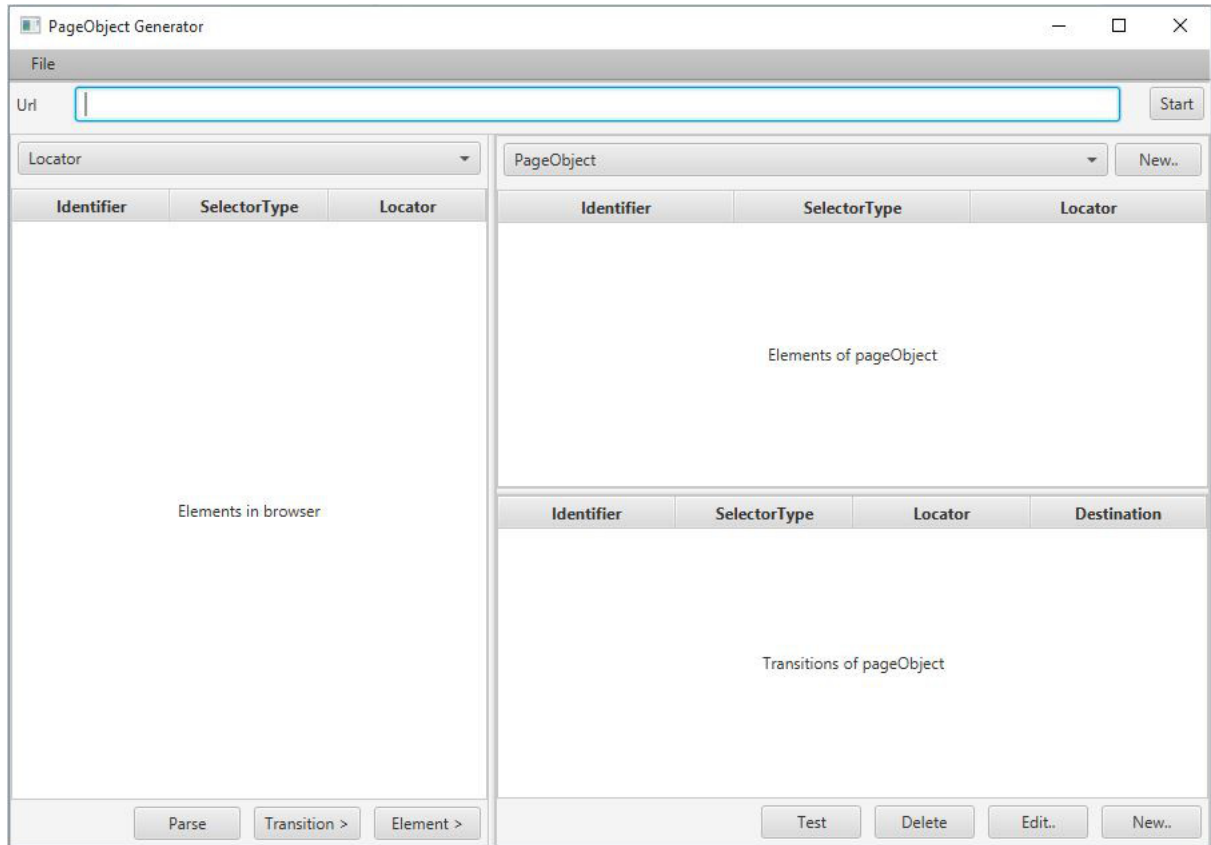


Abbildung 5.4.: SeleniPo - Page Object Generator - Menü

5.3.1. Einordnung des Page Object Generator in den Gesamtkontext

Abbildung 5.5 zeigt die Einordnung des Page Object Generator in die Infrastruktur von it@M. Anhand dieser Abbildung soll gezeigt werden in welchem Bezug sich der Generator zu einer zu testenden Webanwendung und dem späteren Testprojekt befindet.

Zwei übergeordnete Teilbereiche werden unterschieden. Die virtualisierte Serverumgebung (MIA) und der lokale Rechner eines Entwicklers. Auf der virtualisierten Serverumgebung werden die entwicklerübergreifenden Infrastrukturkomponenten wie beispielsweise eine Versionsverwaltung bereitgestellt. Unter dem Entwicklungsrechner ist der Arbeitsplatz eines einzelnen Projektteilnehmers zu verstehen.

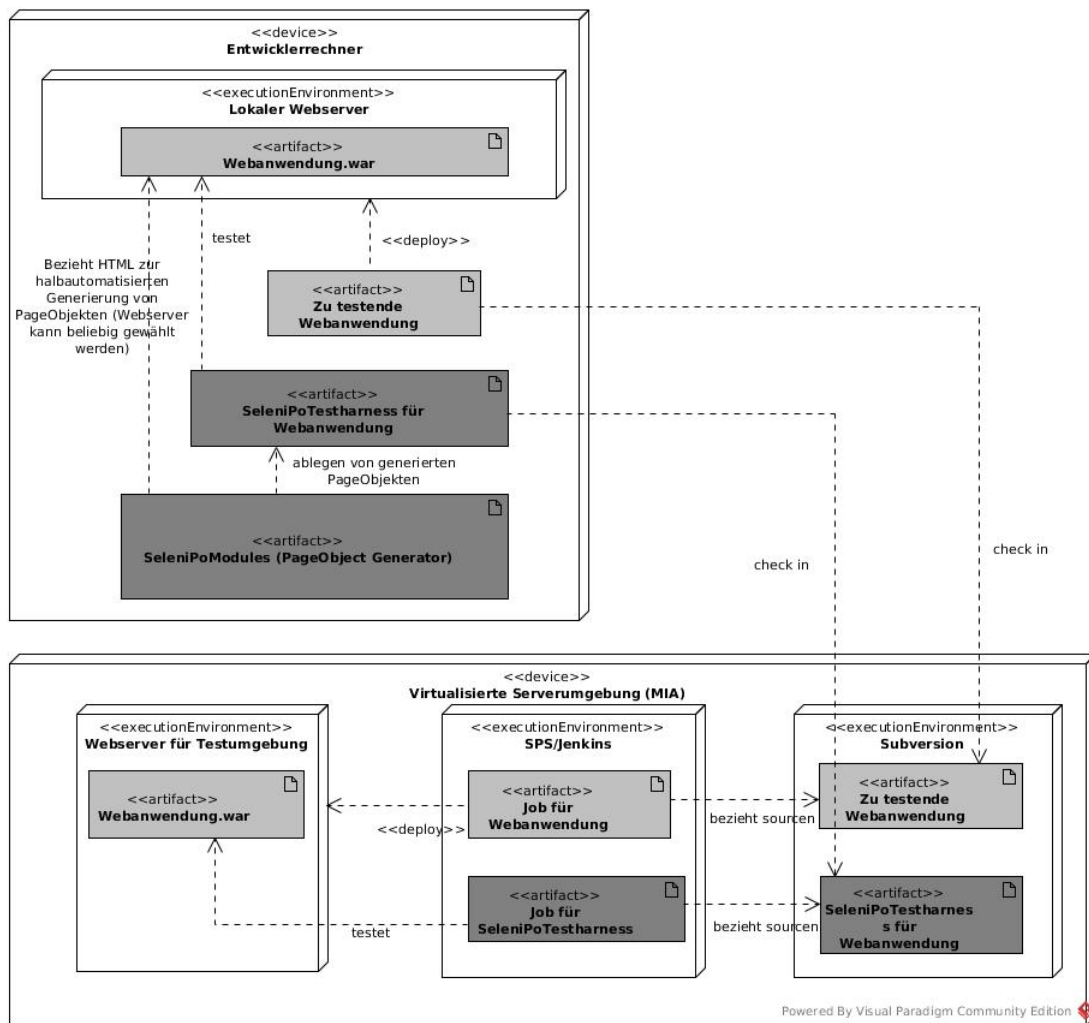


Abbildung 5.5.: Einordnung des Page Object Generator in die Deploymentsicht

Auf dem Entwicklungsrechner wird die zu testende Webanwendung entwickelt. Zu Testzwecken kann diese Anwendung in ihrem aktuellen Entwicklungsstand auf einem lokalen Webserver bereitgestellt werden. Der lokale Rechner des Entwicklers ist auch der Ort an dem der Page Object Generator eingesetzt wird. Die lokal bereitgestellte Webanwendung kann verwendet werden um für die verschiedenen Seiten der zu testenden Anwendung Page Objects mit Hilfe des Generators zu erzeugen. Diese Page Objects werden in ein zweites Projekt abgelegt, in welchem die Selenium-Testfälle entwickelt werden. Dieses Projekt wird in Abbildung 5.5 als SeleniPoTestharness bezeichnet und kann vom Entwicklerteam entweder selbst erstellt oder als leeres Quickstart-Projekt vorgefertigt bezogen werden. Mit Hilfe der Page Objects im Testharness können Testfälle entwickelt werden die während der Erstellung auf dem lokalen Entwicklungsrechner gegen die lokal bereitgestellte Webanwendung ausgeführt

werden. Über die virtualisierte Serverumgebung werden die lokal auf den Entwicklungsrechnern der Projektteilnehmer erstellten Ergebnisse zusammengeführt. Der Sourcecode der zu testende Webanwendung so wie des SeleniPoTestharness wird in einer Versionsverwaltung in der MIA abgelegt. Bei it@M wird zu diesem Zweck Subversion eingesetzt. Über die Versionsverwaltung kann eine Softwareproduktionsstraße bedient werden die das bauen, bereitstellen und testen der Webanwendung automatisiert. Bei it@M kommt hierfür der Continuous Integration Server Jenkins zum Einsatz. Jenkins bezieht die jeweils aktuellen Sourcen für das Testprojekt und die Webanwendung aus der Versionsverwaltung und kann so regelmäßig eine aktuelle Version der Webanwendung bauen und auf einem Testsystem in der virtuellen Serverumgebung bereitstellen. Jenkins kann daraufhin die im Testharness entwickelten Selenium Testfälle gegen diesen Webserver zur Ausführung bringen.

5.3.2. Beispielhafter Ablauf bei der Benutzung des Page Object Generator

Abbildung 5.6 zeigt auf hoher Abstraktionsebene einen Standardablauf bei der Benutzung des Page Object Generators.

Über das Menü (siehe Abbildung 5.4) hat der Benutzer des Page Object Generator die Möglichkeit einen bereits zuvor angelegten Zwischenstand des Page Object Modells aus einer Save-Datei zu laden. Die Bereits angelegten Page Objects werden nach dem Laden im Drop-down-Menü im Bereich des Page Object Modells (siehe Abbildung 5.2) angezeigt. Der Benutzer hat nun die Möglichkeit mit den bereit vorhandenen Page Objects weiterzuarbeiten oder ein neues Page Object anzulegen. Entscheidet er sich dazu, ein neues Page Object anzulegen, wird dieses nach dem anlegen im Modell vorausgewählt angezeigt. Das Page Object kann nun manuell mit Elemente bzw. Transitionen befüllt werden. Um das Page Object teildautomatisiert zu befüllen kann über den Start-Button ein Webbrowser gestartet werden. Im Browser muss die Seite der Webanwendung geladen werden die dem aktuell ausgewählten Page Object entspricht. Mit dem Dropdown des HTML-Parser (siehe Abbildung 5.3) kann die ausgewählte Webseite nach passenden Elementen bzw. Transitionen durchsucht werden. Passende Ergebnisse können in das ausgewählte Page Object übernommen und dort bei Bedarf noch einmal überarbeitet werden. Der neu generierte Zwischenstand kann wiederum über das Menü gespeichert werden. Um die Page Objects letztendlich als Code aus dem Modell zu erzeugen kann über das Menü die Generierung gestartet werden. Bei richtiger Konfiguration des Page Object Generators muss dazu lediglich das Rootverzeichnis des entsprechenden Testprojektes als Zielort der Generierung ausgewählt werden.

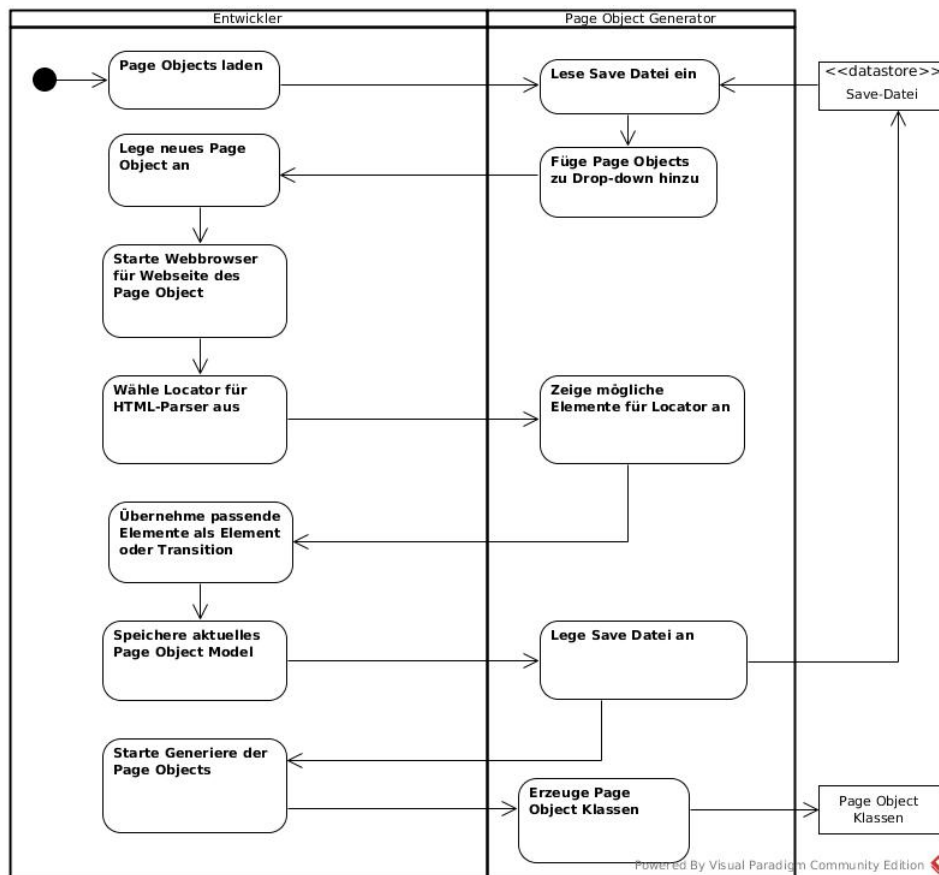


Abbildung 5.6.: Beispielhafter Ablauf bei der Benutzung des Page Object Generator

5.3.3. Anwendungsfälle des Page Object Generator

Die konkreten Anwendungsfälle des Page Object Generators sind in Abbildung 5.7 dargestellt.

Eine detaillierte Ausformulierung der Anwendungsfälle befindet sich im Anhang A.1

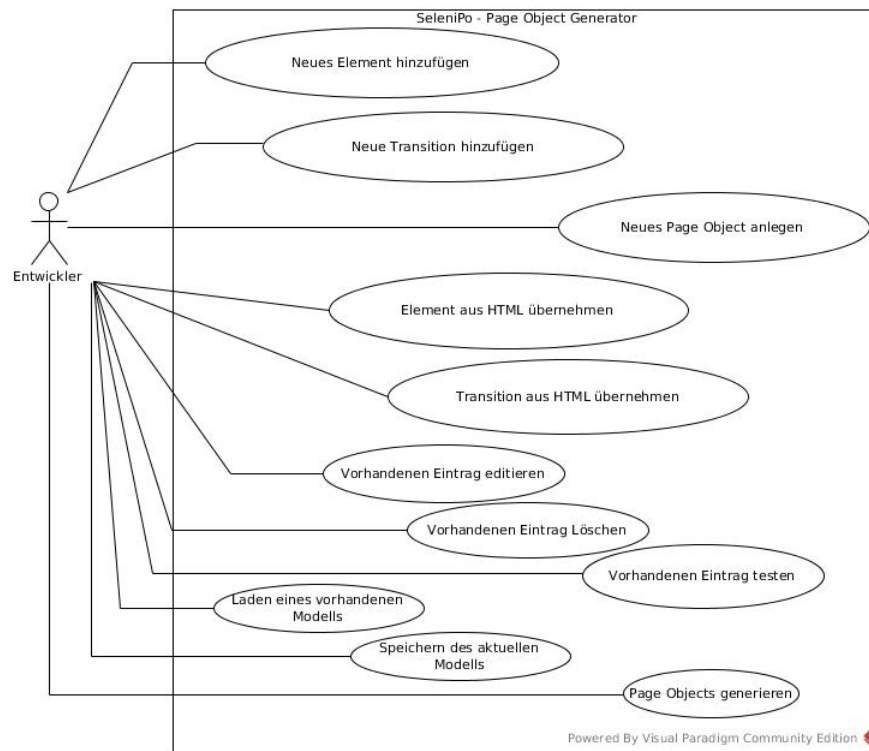


Abbildung 5.7.: Anwendungsfälle des Page Object Generator

5.3.4. Aufbau und technische Aspekte der Anwendung

In seiner internen Struktur ist der Page Object Generator in vier Module aufgeteilt die unterschiedliche aufgaben übernehmen. Auf Projektebene sind diese Module in einem übergeordneten Modul mit dem Namen SeleniPoModules zusammengefasst. Abbildung 5.8 zeigt die verschiedenen Module des Page Object Genrators und deren Abhängigkeiten zueinander. Neben den Modulen des Page Object Generators zeigt Abbildung 5.8 zusätzlich den SeleniPoTestharness der später dazu verwendet werden kann die vom Page Object Generator erzeugten Klassen in einen ausführbaren Kontext zu stellen.

5.3.4.1. SeleniPoEditor

Das zentrale Modul des Page Object Generator ist der SeleniPoEditor. Ausgehend von diesem Modul werden die übrigen Module verwendet um die in Kapitel 5.3.3 vorgestellten Anwendungsfälle zu verwirklichen. Das Modul SeleniPoEditor stellt dazu die Grafische Benutzeroberfläche (GUI) der Anwendung bereit. Als Technologie wird JavaFX [Ora15] verwendet das mit der Java Version 1.8 Einzug in den Java Standard gefunden hat.

Um eine hohe Wartbarkeit dieser Komponente zu gewährleisten wurde die GUI nach dem

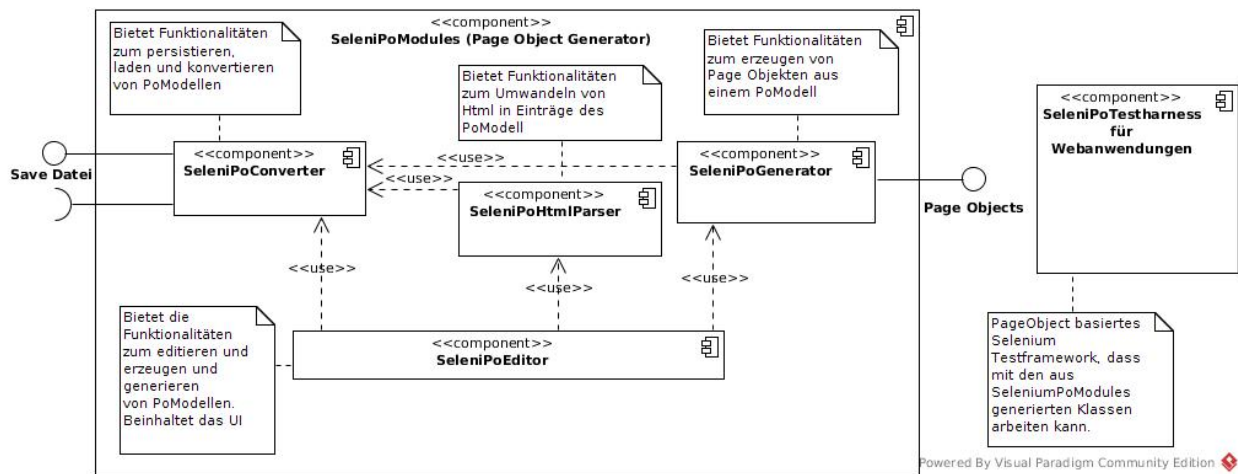


Abbildung 5.8.: Module des Page Object Generators

Model-View-Controller Prinzip verwirklicht. Das Model besteht aus einem Anwendungsspezifischem Java Objekt welches eine Liste von Page Objekten mit deren zugehörigen Attributen darstellt. Für die View wird die XML-basierte Sprache FXML verwendet um losgelöst von der Applikationslogik die Struktur der Benutzeroberfläche zu beschreiben. Der Controller besteht aus Java Klassen mit deren Hilfe das Verhalten der GUI bei Benutzerinteraktion beschrieben wird. Komplexere Logik wie beispielsweise das Generieren der fertigen Page Object Klassen wird mittels Services von den übrigen Modulen bereitgestellt.

Das Verhalten der GUI wird über einen Zustandsautomaten gesteuert. Interaktionen mit der Oberfläche beeinflussen den Zustand in dem sich die Anwendung befindet. Je nach Zustand variieren die Aktionen die von den verschiedenen Buttons der Anwendung ausgelöst werden. Mit Hilfe dieses Prinzips kann beispielsweise nach der Auswahl eines Elements beim editieren ein anderer Dialog angezeigt werden, als nach der Auswahl einer Transition. Die verschiedenen Zustände der GUI so wie die Events die in diesen Zuständen verarbeitet werden sind im Anhang A.2 über einen erweiterten endlichen Automaten dargestellt.

5.3.4.2. SeleniPoConverter

Das Modul SeleniPoConverter dient der Verwaltung des internen Modells des Page Object Generators. In dieser Komponente wird einerseits das Modell der Anwendung definiert, andererseits werden Services für andere Module bereit gestellt um mit diesem Modell zu arbeiten. Abbildung 5.9 zeigt die Interface-Stuktur welche das Modell abbildet.

Kern des Modells ist das Interface PoModel welches eine Vielzahl von PoGenerics beinhalten kann. Ein PoGeneric repräsentiert die Informationen die benötigt werden um später eine

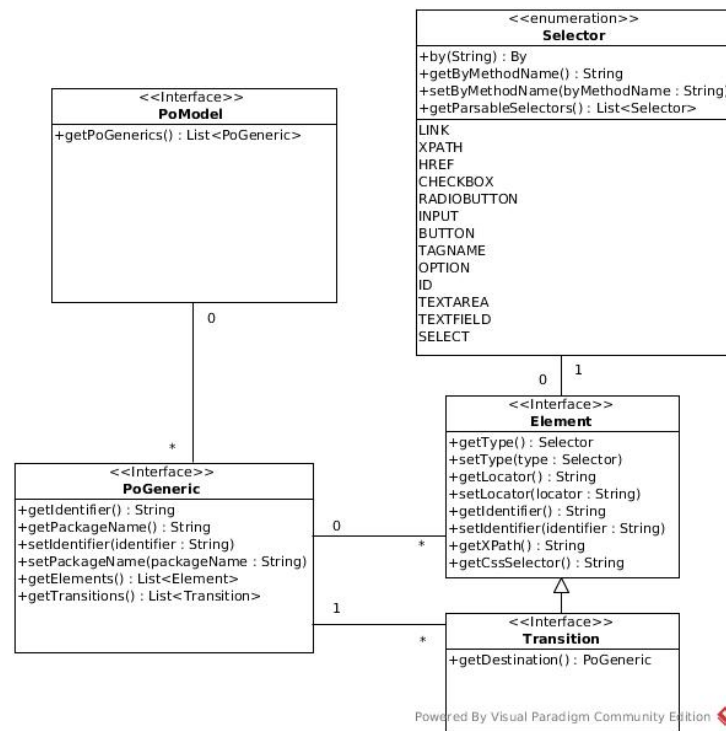


Abbildung 5.9.: Vereinfachte Struktur des internen Modells des Page Object Generators

Page Object Klasse zu erzeugen. Dementsprechend vereint dieses Interface eine Menge an Elementen und Transitionen. Ein Element steht dabei für eine beliebige Komponente einer Webseite wie beispielsweise ein Eingabefeld. Transitionen sind von Elementen abgeleitet. Es handelt sich also um eine speziellere Form von Elementen. Mit Hilfe von Transitionen ist es Möglich auch die dynamische Komponente ein Webseite in Form von Seitenübergängen abzubilden. Als Transition werden all die Komponenten einer Webseite bezeichnet die einen Übergang auf ein neues Page Object auslösen. Transitionen sind dem zufolge im Gegensatz zu Elementen um ein Ziel Page Object erweitert.

Sowohl Elemente als auch Transitions werden über einen Selektor genauer definiert. Der Selektor gibt für ein Element im Modell an, welche Suchstrategie beim auflösen des Locators gegen die Webseite verwendet werden soll. Die verfügbaren Strategien werden durch die verschiedenen Aufzählungstypen der Enumeration festgelegt. Die Kerninformation zum adressieren eines Elements auf der Webseite bildet der Locator eines Elements. Vom Generator wird diese Variable mit einem Wert befüllt der charakteristisch für das zu adressierende Element ist. Je nach Element handelt es sich hierbei oft um ein HTML-Attribute wie beispielsweise die Id oder der Value eines HTML-Tags. In Verbindung mit dem ausgewählten Selektor kann über eine Klasse ByFactory, auf die im Kapitel 5.3.4.5 näher eingegangen

wird, aus diesen Informationen ein für dieses Element repräsentativer XPath-Ausdruck bzw. Css-Selektor erzeugt werden. Soll der Umweg über die Klasse ByFactory vermieden werden, können die fertig aufgelösten Ausdrücke auch direkt als Strings erfragt werden.

Abbildung 5.9 zeigt nur die Interface-Struktur des zugrunde liegenden Modells. Der Page Object Generator kennt zwei konkrete Implementierungen. Das vollständige Modell ist in Anhang A.3 abgebildet. Zwei verschiedene Implementierungen sind notwendig da JavaFX und XStream [Joe15], welches für die Persistierung in XML verwendet wird, unterschiedliche Anforderungen an das Modell stellen. JavaFx benötigt spezielle Datentypen wie beispielsweise ObservableList anstelle einer gewöhnlichen List, um die View der GUI automatisch mit dem Modell synchron zu halten. Diese Datentypen können von XStream auf Grund eines fehlenden argumentlosen Konstruktors jedoch nicht mehr deserialisiert werden. Dementsprechend werden vom Converter eine Reihe von Services bereitgestellt die das Wandeln des Modells in die zwei Implementierungen ermöglicht. Eine Implementierung kann verwendet werden um das Modell zu Persistieren und wieder zu deserialisiert, das andere um im Umfeld von JavaFX zu arbeiten.

Abbildung 5.10 zeigt alle vom Converter bereitgestellten Services.

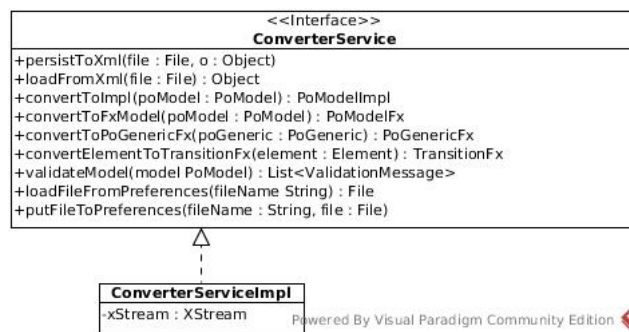


Abbildung 5.10.: Services die von SeleniPoConverter bereitgestellt werden

Neben den Services zum Wandeln des Modells wird in diesem Modul auch die Funktionalität zum speichern und laden so wie zur fachlichen Validierung des Modells bereitgestellt. Zusätzlich wird die Möglichkeit geboten user-spezifische Informationen, wie beispielsweise der Pfad zur zuletzt verwendeten Save-Datei, in den Benutzer-Properties abzulegen.

5.3.4.3. SeleniPoHtmlParser

Das SeleniPoHtmlParser Modul beinhaltet die Funktionalität zum Teilautomatisierten befüllen von Page Objects mit Elementen bzw. Transitionen. Das Modul stellt dazu eine Methode

bereit die es ermöglicht HTML-Quelltext anhand von einem übergebenen Selektor auszuwerten. Abbildung 5.11 zeigt das Klassendiagramm für diesen Service.

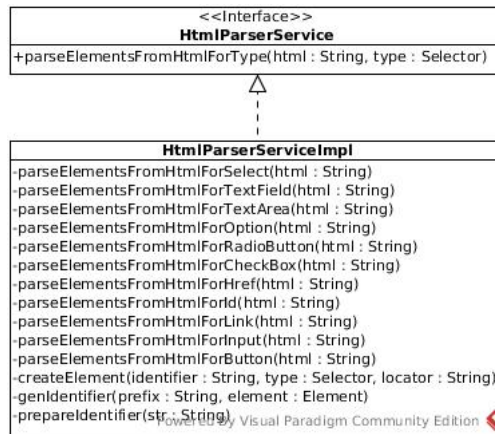


Abbildung 5.11.: Services die von SeleniPoHtmlParser bereitgestellt werden

Der zu übergebende HTML-Quelltext wird von einem Webbrowser bezogen der über das Modul SeleniPoEditor gestartet werden kann. Zum starten und verwalten dieses Browsers wird, wie in den späteren Testfällen, Selenium verwendet. Das Parsing des Quelltext übernimmt die freie Bibliothek jsoup [Hed15]. Für jeden im Selektor definierten Aufzählungstypen wurde dazu eine eigene Strategie implementiert. Listing 5.2 zeigt beispielhaft die Implementierung für den Aufzählungstypen LINK die Links auswählt die eines der HTML-Attribute id, text oder title besitzen:

Listing 5.2: Parser für den Aufzählungstypen LINK

```

1  /**
2   * Sucht nach Links fuer die vorhanden ist: id or text or title
3   *
4   * @param html Quelltext der zu untersuchenden Seite
5   * @return PoGeneric - neues Page Object mit den gefundenen Elementen
6   */
7  private PoGeneric parseElementsFromHtmlForLink(String html) {
8      final String PREFIX = "a";
9      PoGeneric poGeneric = new PoGenericImpl();
10     Document doc = Jsoup.parse(html);
11     Elements elements = doc.select("a");
12     for (Element element : elements) {
13         if (element.hasAttr("id")) {

```

```
14         de.muenchen.seleniumpo.Element createdElement = createElement(  
15             genIdentefier(PREFIX, element), Selector.LINK,  
16             element.attr("id"));  
17         poGeneric.getElements().add(createdElement);  
18     }  
19     else if (element.hasText()) {  
20         de.muenchen.seleniumpo.Element createdElement = createElement(  
21             genIdentefier(PREFIX, element), Selector.LINK,  
22             element.text());  
23         poGeneric.getElements().add(createdElement);  
24     }  
25     else if (element.hasAttr("title")) {  
26         de.muenchen.seleniumpo.Element createdElement = createElement(  
27             genIdentefier(PREFIX, element), Selector.LINK,  
28             element.attr("title"));  
29         poGeneric.getElements().add(createdElement);  
30     }  
31 }  
32 return poGeneric;  
33 }  
34 }
```

Die für die jeweiligen Selektoren implementiert Filterstrategie orientiert sich an der Strategie die später in den Testfällen verwendet wird um die Elemente auf der Webseite zu adressieren. Die Testfälle verwenden dazu eine Klasse ByFactory auf die im Abschnitt 5.3.4.5 näher eingegangen wird. Dieses vorgehen hat den Nachteil, dass die Möglichkeit besteht, Elemente zu verwerfen die vom Benutzer für den ausgewählten Filter zwar erwartet werden, den implementierten Filterkriterien jedoch nicht entsprechen. Im Beispiel aus Listing 5.2 wären das alle Links für die weder das Attribut id, text oder title gesetzt sind. Über dieses vorgehen ist allerdings sichergestellt, dass für einen untersuchten Selektor nur Elemente zur Auswahl gestellt werden, die in den späteren Testfällen über die Klasse ByFactory auch aufgelöst werden können. So wird verhindert, dass über die Page Objects Elemente bereitgestellt werden die später in den Testfällen zu Fehlern führen

Die Palette der vorgefertigten Filter deckt den größten Teil der im HTML vorhandenen Elemente bereits ab. Sollte es dennoch zu dem Fall kommen, dass Elemente über die existierenden Selektoren nicht erreicht werden können, besteht immer die Möglichkeit mit Hilfe

des Selektors XPATH Elemente über einen eigenen XPath-Ausdruck anzusprechen.

5.3.4.4. SeleniPoGenerator

Das Modul SeleniPoGenerator ermöglicht es aus einem Modell des SeleniPoConverters Page Object Klassen zu generieren. Abbildung 5.12 zeigt die Services die von diesem Modul angeboten werden.

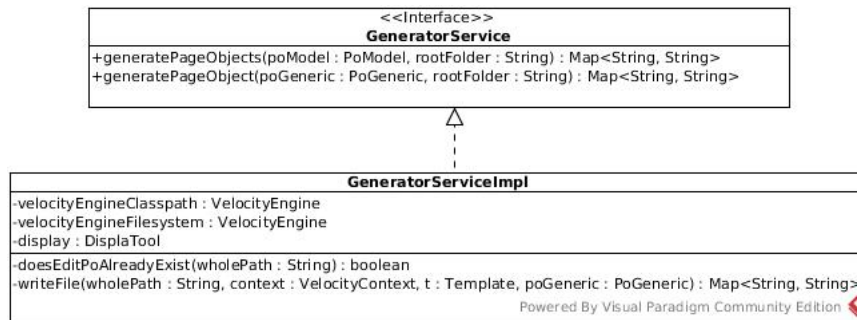


Abbildung 5.12.: Services die von SeleniPoHtmlParser bereitgestellt werden

Für die Generierung des Codes aus dem Modell der Anwendung wird die Template-Engine Velocity [Apa15] verwendet. Mit Hilfe von Velocity kann ein beliebiges Modell der Anwendung über vordefinierte Templates in die gewünschten Page Object Klassen gewandelt werden. Die Templates können vom Benutzer des Page Object Generators beliebig editiert werden. Auf diese Weise können die im Modell der Anwendung hinterlegten Informationen in jede vom Anwender gewünschte Form aufbereitet werden. Anhang A.4 zeigt als Beispiel den Templatevorschlag der im Rahmen dieser Arbeit im Page Object Generator verwendet wird. Für jedes Page Object im Modell werden jeweils zwei Klassen erzeugt. Eine Klasse, welche die gesamte generierte Logik enthält, so wie eine Klasse, welche abgesehen von einem Konstruktor leer ist und von dieser Klasse ableitet. Die komplexe Klasse wird im folgenden als `PageObject_Generated` bezeichnet. Das zugehörige Template befindet sich in Listing A.1. Die bis auf den Konstruktor leere Klasse wird im folgenden als `PageObject_Dynamisch` bezeichnet und ist im Template in Listing A.2 verwirklicht. Abbildung 5.13 zeigt die Abhängigkeit zwischen den beiden zu generierenden Klassen.

Mit Hilfe der Aufteilung eines Page Objects in zwei Klassen soll verhindert werden, dass bei mehrmaligem Generieren des gleichen Page Objects Änderungen, die vom Testentwickler im Code vorgenommen wurden, überschrieben werden. Als Konvention gilt daher, dass Änderungen durch den Entwickler nur im `PageObject_Dynamisch` vorgenommen werden dürfen. Der generierte Teil des Page Objects darf vom Entwickler nicht verändert werden. Bei einem

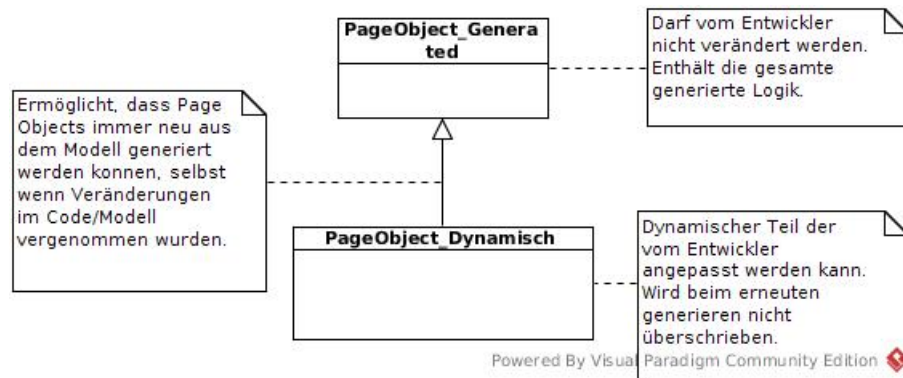


Abbildung 5.13.: Abhängigkeit zwischen dem generierten und dem dynamischen Teil eines Page Objects

erneuten generieren der Page Objects werden lediglich die **PageObject_Generated** überschrieben, der dynamische Teil bleibt unangetastet. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass Änderungen die im dynamischen Teil vorgenommen werden nicht überschrieben werden jedoch Anpassungen über den Page Object Generator vorgenommen wurden Einzug in den generierten Teil finden können. Page Objects können so über die gesamte Projektlaufzeit iterativ im Page Object Generator aufgebaut werden und müssen nicht bereits zu Beginn im finalen Zustand modelliert werden.

Der Ort an dem die fertigen Page Objects abgelegt werden ist über eine Konfigurationsdatei und die Page Objects variabel einstellbar. Abbildung 5.14 stellt grafisch dar wie die endgültige Paket-Struktur eines Page Objects gebildet wird. In der Grundkonfiguration wird

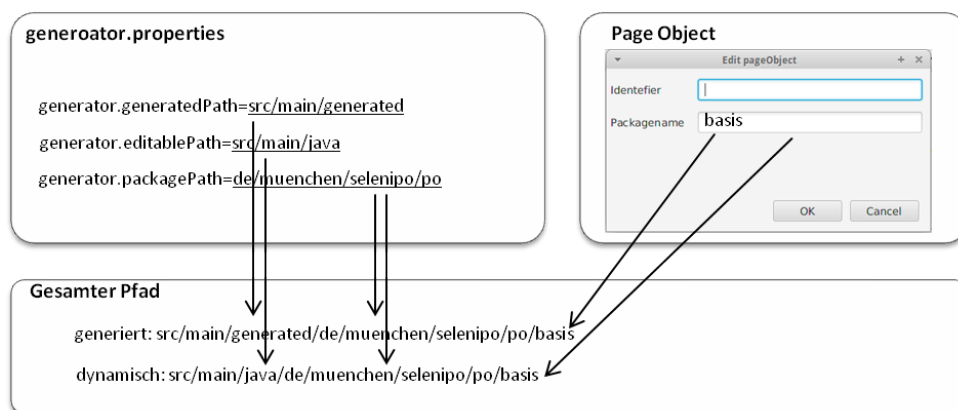


Abbildung 5.14.: Erzeugen der Paket-Struktur eines Page Object

der generierte Teil eines Page Objects unterhalb des Pakets 'src.main.generated' abgelegt. Der dynamische Teil befindet sich im Paket 'src.main.java'. Diese Strukturierung bildet die

getroffene Konvention ab, dass bei der Verwendung der Page Objects der dynamische Teil als Instanz in den Testfällen verwendet wird und der generierte Teil nicht editiert werden darf. Ausgehend von diesen Paketen kann über die Konfiguration der Pfad weiter verfeinert werden. So kann beispielsweise konfiguriert werden, dass der generierte Teil eines Page Objects immer im package ‘src.main.generated.de.muenchen.selenium.po’ abgelegt werden, der dynamische im package ‘src.main.java.de.muenchen.selenium.po’. Während der Erstellung eines Page Objects im Page Object Generator kann auf Ebene der Page Objects eine weitere Verfeinerung der Struktur vorgenommen werden. Ausgehend von den global konfigurierten Ziel-Paketen kann so jedes Page Object in ein beliebiges Paket abgelegt werden. Für die Generierung der Klassen kann bei richtiger Konfiguration dann einfach das Rootverzeichnis des Testprojektes ausgewählt werden.

5.3.4.5. SeleniPoTestharness

Im Rahmen dieser Arbeit wurde auch ein Testprojekt entwickelt welches mit den Page Objects die über den Page Object Generator erzeugt wurden arbeiten kann. Das Testprojekt wird im folgenden als Testharness bezeichnet. Damit Testharness und Page Object Generator zusammenarbeiten können müssen die Struktur der Templates des Generators und die Struktur des Testharness zusammenpassen. Die Struktur der Templates kann vom Benutzer des Page Object Generators jeder Zeit angepasst werden. Prinzipiell kann dadurch jede Struktur eines Testharness unterstützt werden. Damit die Templates die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurden unterstützt werden muss der Testharness allerdings einige Anforderungen erfüllen. Abbildung 5.15 zeigt die Page Object Struktur die sowohl in den Templates als auch im Testharness verwendet wird.

Die Wurzel der Vererbungshierarchie eines Page Objects bildet die Klasse PageObject. Die Klasse PageObject beinhaltet die Kernkomponente des Testharness, den Selenium WebDriver. Neben dem WebDriver enthält die Klasse PageObject noch eine weitere Kernkomponente, die Klasse ByFactory, die allerdings nur spezifisch für diese Implementierung eines Testharness ist und nicht zum Standard bei der Verwendung des Page Object Pattern gehört. Die Helferklasse ByFactory ermöglicht es in einfacher Art, komplexe ‘org.openqa.selenium.By’-Ausdrücke zu erzeugen die verwendet werden um über den WebDriver Elemente auf der Webseite zu lokalisieren. Als Übergabe erhält die Factory dazu einen einfachen Locator-String der beispielsweise dem Value oder der Id des gesuchten Tags entspricht. Die Klasse ByFactory ist mit dem Page Object Generator abgestimmt. Für jeden Selektor des Generators gibt es eine entsprechende Factory-Methode. Die vom Generator erzeugten Locatoren sind so gewählt, dass sie von der ByFactory interpretiert werden können. Damit ist sicherge-

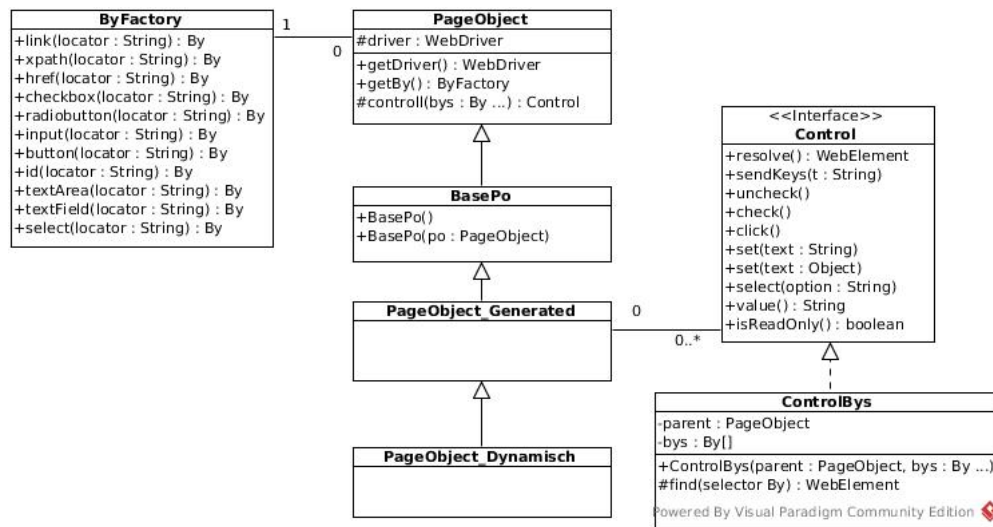


Abbildung 5.15.: Page Object Struktur des Testharness

stellt, dass ein vom Generator erzeugter Locator von der entsprechenden Factory-Methode der ByFactory aufgelöst werden kann. Die Verwendung der Factory-Klasse bringt den Vorteil, dass komplexe XPath-Ausdrücke einfach gekapselt und lesbar in den Page Objects abgelegt werden können. Das Modell des Generators bietet allerdings auch die Möglichkeit die bereits aufgelösten Ausdrücke ohne die zusätzliche Verwendung der ByFactory zu erhalten. Mit den Methoden ‘Element.getXPath()‘ bzw. ‘Element.getCssSelector()‘ können je nach verwendetem Selektor der XPath bzw. der CssSelector als String erfragt werden.

Die Klasse BasePo ist das nächste Kind in der Vererbungshierarchie. Als einzige Klasse bietet BasePo einen parameterlosen Konstruktor und bildet somit den Einstiegspunkt bei der Verwendung der Page Objects in einem Testfall. Bei der konstruktorlosen Initialisierung des BasePo wird ein neuer WebDriver angelegt der auf einer über die Konfiguration hinterlegbaren Adresse startet. Alle weiteren Page Objects erhalten bei der Instanziierung als Übergabe ein bereits instantiiertes Page Object aus dem der WebDriver übernommen werden kann. Damit kann der Zustand des WebDrivers innerhalb eines Testfalls von Page Object zu Page Object übergeben werden. Ausgehend von der Klasse BasePo erben die vom Page Object Generator erzeugten Klassen PageObject_Generated und PageObject_Dynamisch (siehe Kapitel 5.3.4.4). Die verschiedenen Elemente der Webseite werden im Page Object als Implementierung des Interfaces Control angeboten. Die Klasse ControlBys implementiert das Interface Control und kapselt ein Selenium WebElement. Als Referenz gegen die Webseite wird bei der Instanziierung ein By-Ausdruck übergeben der über die ByFactory erzeugt werden kann. Für die Interaktion mit dem referenzierten Element bietet die Klas-

se eine Vielzahl an Methoden an. Eine davon ist die Methode ‘Control.resolve()’ welche das gekapselte WebElement zurückliefert. Die Kapselung eines WebElements in die Klasse ControlBys hat den Vorteil, dass WebElemente in einem PageObject als Variablen geführt werden können. Die Klasse ControlBys verhindert nämlich, dass ein WebElement sofort bei der Instanziierung eines PageObject gegen die geladene Webseite im Webdriver aufgelöst wird. Erst beim Aufruf einer Methode wird der übergebene By-Ausdruck verwendet um das eigentliche WebElement über die WebDriver-Methode findElement() zu erhalten. So wird verhindert, dass ein Page Object bereits bei der Instanziierung versucht Elemente auf der Webseite abzufragen die möglicherweise noch gar nicht geladen sind oder erst durch vorangegangene Interaktion erreichbar gemacht werden müssen. Die Klasse PageObject bietet zur einfachen Erzeugung von Controls die statische Methode ‘control(bys : By ...)’ an die auch in den Templates verwendet wird.

5.4. Praxistest

Um erste Erfahrungen mit dem Page Object Generator im Praxisbetrieb zu sammeln wurden eine frühe Version des Generators dazu verwendet Page Objects für ein bereits etabliertes Projekt mit geringer Testabdeckung zu erzeugen. Für das System zur Verwaltung von Schulversäumnissen in der Stadt München sollten Systemtests mit Hilfe des Selenium WebDrivers erzeugt werden. Mit Hilfe des Page Object Generators wurden die benötigten Page Objects erzeugt. Fokus des ersten Praxistests lag darauf Erfahrungen zu sammeln wie intuitiv die Bedienung des Page Object Generators für einen neuen Anwender nach einer kurzen Einweisung ist. Die Erkenntnisse die dabei gesammelt wurden lieferten wichtige Hinweise die vor allem zu großen Verbesserungen im Bereich der Benutzerfreundlichkeit führten. Wichtige Bereiche der Anwendung sind auf Grund des Feedbacks nun über Tastatur- und Mauseingaben zu Steuern und nicht mehr nur exklusiv über die in der GUI angebotenen Interaktionskomponenten.

Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass in der Regel eine Vielzahl von Elementen und Transitionen für ein Page Object auf einmal übernommen werden. Die Übernahme von Elementen und Transitionen ist daher nicht mehr nur auf einzelne Ergebnisse des Parsers beschränkt. Per Multiselect können nun eine Vielzahl von Treffern auf einmal übernommen werden.

Die Verwendung in der Praxis hat auch gezeigt, dass das Laden, Speichern und Generieren von Page Objects Aktionen sind die häufiger ausgeführt werden als zu Beginn erwartet. Auf Grund dieser Erkenntnis, wurde die Anwendung dahingegen verbessert, dass sie sich die letzten vom Benutzer für die jeweilige Aktion ausgewählten Pfade merkt. Lange Navigations-

wege bei der Auswahl der Pfade können so vermieden werden. Die genannten Veränderungen waren nur einige von einer Vielzahl von Verbesserungen die auf Grund des ersten Praxistest des Page Object Generators vorgenommen werden konnten. Mit der überarbeiteten Version wurde ein zweiter Praxistest angetreten. In diesem Testbetrieb sollten für die Anwendung zum Erzeugen der Jahresstatistiken der Kindertagesstätten der Stadt München die Page Objects erzeugt werden. Die Verbesserungen aus dem ersten Praxistest wurden gut angenommen. Die Bereiche die bei der Bedienung zuvor noch Probleme gemacht hatten wurden nun intuitiv richtig verwendet. Die Erkenntnisse die aus dem zweiten Praxistest gewonnen werden könnten zeigten vor allem Bereiche im Page Object Generator auf die im Hinblick auf eine höhere Flexibilität verbessert werden können. Für die Generierung der eindeutigen Namen von Elementen und Transitionen werden in einem fest vorgegebenem Algorithmus die HTML-Attribute des jeweiligen HTML-Tags ausgewertet. Das gewählte Vorgehen liefert nicht immer sinnvolle Namen. In ungünstigen Konstellationen kann es vorkommen, dass der gleiche Wert mehrmals erzeugt wird, was zu unnötigem Mehraufwand bei der Überarbeitung der Namen führt.

Die Aufteilung der Page Objects in einen Generierten und einen Dynamischen Teil wie sie in Kapitel 5.3.4.4 beschrieben ist, wurde nicht von allen Testanwendern intuitiv angenommen. Auch wenn diese Aufteilung von mit als sinnvoll erachtet wird, bietet es sich an den Benutzer die Entscheidungsfreiheit zu bieten die Generierung des dynamischen Teils zu verhindern. Auch bei der Erzeugung der Paket-Struktur wie sie in Abbildung 5.14 gezeigt ist wurde eine zu geringe Flexibilität bemängelt. Sowohl für den Dynamischen als auch für den Generierten Teil eines Page Objects wird die selbe Variable zum Erzeugen des Pfades unterhalb von 'src.main.java' bzw. 'src.main.generated' verwendet. Ein Ablegen des Dynamischen und des Generierten Teil eines Page Objects in verschiedenen Paketen ist damit nicht möglich.

Abgesehen von den Verbesserungsvorschlägen des ersten und zweiten Praxistests wurde der Page Object Generator in beiden Prüfungen von den Anwendern durchwegs als Positiv bewertet. Die Generierung der Page Objects wurde als Arbeitserleichterung empfunden welche eine Zeitersparnis im Vergleich zum manuellen Erzeugen mit sich bringt. Die Zeitdifferenz zum manuellen Erstellen der Page Objects wurde in den Praxistests allerdings nicht wissenschaftlich gemessen und überprüft. Es handelt sich bei den Aussagen der Anwender daher um deren persönliche Empfindung.

6. Fazit

Das manuelle Testen von Software ist ein Bereich der Softwareentwicklung der in der Literatur mittlerweile gut und umfassend beleuchtet ist. Anders verhält es sich mit der Testautomatisierung. Dieser Bereich des Testens ist zwar schon lange bekannt wird in der Literatur jedoch immer noch nicht umfassend genug behandelt. Mit dieser Arbeit wurde ein Werk geschaffen welches sich mit einer Sparte der Softwareentwicklung befasst die noch Entwicklungspotential in sich birgt. Zunächst wurden die Grundlagen des Testens im allgemeinen vorgestellt und herausgearbeitet, dass Testen eine sinnvolle Möglichkeit ist um die Qualität von Softwareprodukten zu verbessern. Die Automatisierung des Testens wurde im laufe der Arbeit näher beleuchtet. Dazu wurden die verschiedenen Bereiche und Möglichkeiten der Testautomatisierung aufgezeigt so wie die Vor- und Nachteile herausgearbeitet. Die Testautomatisierung wurde als Möglichkeit identifiziert, die Erfolge die mit Hilfe von Softwaretests erzielt werden können weiter zu verbessern und die dabei eingesetzten Mittel zu reduzieren. Als ein Problem der Testautomatisierung wurde der oft erhöhte initiale Mehraufwand bei der Erstellung von Testfällen genannt und als Möglichkeit für eine Verbesserung in diesem Bereich erkannt. Als Beispiel für ein Testautomatisierungs-Tool welches als Schnittstelle die Oberfläche einer Webanwendung verwendet wurde Selenium vorgestellt. Auch für dieses Tool hat sich gezeigt, dass der initiale Mehraufwand bei der Testfallerstellung verglichen mit der manuellen Durchführung der Testfälle erhöht ist. Darüber hinaus ergab sich, dass dieser Aufwand noch weiter steigt wenn Selenium wie vorgeschlagen in Verbindung mit dem Page Object Pattern verwendet wird. Für den Einsatz von Selenium in Verbindung mit dem Page Object Pattern wurde daher eine Softwarelösung entwickelt und vorgestellt welche den Aufwand bei der Erstellung von automatischen Tests reduziert. Die Softwarelösung in Form eines Page Object Generators vereinfacht dazu die Erstellung der Page Objects die beim Einsatz des Page Object Patterns benötigt werden. Page Objects müssen nicht mehr händisch programmiert werden sondern können teilautomatisiert aus dem Quelltext einer Webseite generiert werden. Der Page Object Generator trägt damit dazu bei, den initialen Mehraufwand bei der Erstellung des Testfälle zu reduzieren.

6.1. Ausblick

Der Page Object Generator hat einen Stand erreicht der sich für den Produktiven Einsatz eignet. Praxistests haben jedoch gezeigt, dass Generator so wie der zugehörige Testharness durchaus noch Verbesserungspotenzial bieten. Ein Maximum an Zeitersparnis lässt sich mit dem Page Object Generator erreichen, wenn der Konfigurationsaufwand von Testprojekt und Generator möglichst gering gehalten wird. Ein sinnvoller Ansatzpunkt um das Projekt SeleniumPo weiter voranzutreiben wäre es daher die Entwicklung des Testharness zu Verbessern. Bei der Implementierung des Testharness wie er in Kapitel 5.3.4.5 beschrieben ist, handelt es sich um einen Prototypen der zwar als Grundlage für den produktiven Einsatz verwendet werden kann jedoch noch viel Verbesserungspotential bietet. Mit einem auf den Page Object Generator perfekt abgestimmten Testharness lässt sich der Konfigurationsaufwand des Generators auf nahezu null reduzieren. Das senkt die Hürschwelle für die Benutzung des Tools und steigert die Akzeptanz beim Benutzer. Darüber hinaus lässt sich mit einem gut vorbereiteten Testharness die Verwendung von best practice Ansätzen weiter unterstützt. Ein weitere Richtung in die der Page Object Generator verbessert werden könnte, wäre es verschiedenen Templates für die Generierung der Page Objects anzubieten. Die derzeit im Page Object Generator angebotenen Templates und damit die generierten Page Object Klassen haben sich vom Selenium vorgeschlagenen Standard für Page Objects entfernt. Selenium schlägt die Verwendung von Page Objects mit annotierten WebElements als variablen vor. Die mit Locatoren annotierten WebElements werden bei der Instanziierung über eine PageFactory-Klasse aufgelöst und befüllt. Im Gegensatz dazu erzeugen die im Page Object Generator derzeit hinterlegten Templates PageObject-Klassen die an Stelle von WebElements die Klasse Control verwenden und Abhängig von der Existenz der Klasse ByFactory sind (siehe Kapitel 5.3.4.5). Um die von Selenium angebotene PageFactory zu unterstützen müssen neue Templates geschaffen welche die von der PageFactory-Klasse benötigten Konventionen erfüllen. Diese Templates hätten den Vorteil, dass der Page Object Generator auch außerhalb der Landeshauptstadt München, für die der Generator in erster Linie entwickelt wurde, leichter Verbreitung finden könnte. Die von den Templates aktuell streng vorgegebene Struktur für das Testprojekt ist bei erster Betrachtung nicht sofort verständlich da sie sich vom Standard entfernt hat und erschwert damit Benutzern welche an die Arbeit mit der PageFactory-Klasse gewohnt sind den Einstieg.

A. Anhang

A.1. Anwendungsfallbeschreibung

A.1.1. Neues Page Object anlegen

Kurzbeschreibung:	Entwickler legt ein neues Page Object an.
Akteure:	Entwickler
Motivation:	Entwickler benötigt Page Object in den Testfällen.
Vorbedingung:	
Eingehende Daten:	Name und Paket des Page Object.
Ergebnisse:	Page Object ist ausgewählt.
Nachbedingungen:	Page Object wurde im Modell der Anwendung angelegt.

Ablauf

1. Entwickler startet den Vorgang zum anlegen eines neuen Page Object.
2. System zeigt Dialog an.
3. Entwickler trägt Namen des Page Object im Dialogs ein.
4. Entwickler bestätigt den Dialog.
5. System prüft eingaben.
6. System wählt Page Object aus.

Vorgang abgebrochen Statt Schritt 4-6:

4. Entwickler bricht Vorgang ab.
5. System ändert internen Zustand nicht.

Validierung fehlgeschlagen Statt Schritt 6:

6. System zeigt Fehlermeldung an.
7. Entwickler bestätigt Fehlermeldung.

Weiter mit Punkt 3.

Paketstruktur des Page Object verfeinern Statt Schritt 4:

4. Entwickler trägt Paket des Page Object ein.

Weiter mit Punkt 4.

A.1.2. Neues Element hinzufügen

Kurzbeschreibung:	Entwickler legt ein Element in einem Page Object an.
Akteure:	Entwickler
Motivation:	Entwickler benötigt Element der Seite in den Testfällen.
Vorbedingung:	Page Object bereits angelegt.
Eingehende Daten:	Interner Name des Elements, Art des Selektors, Locator der das Element in der Seite identifiziert
Ergebnisse:	Element wird in den Elementen des Page Object angezeigt.
Nachbedingungen:	Element wurde im Modell der Anwendung angelegt.

Ablauf

1. Entwickler wählt Page Object aus.
2. Entwickler wählt Bereich für die Elemente des Page Objects aus.
3. System wechselt in den internen Zustand zum bearbeiten von Elementen.
4. Entwickler startet den Vorgang zum anlegen eines neuen Eintrags.
5. System zeigt Dialog an.
6. Entwickler befüllt Dialog.
7. Entwickler bestätigt den Dialog.
8. System prüft ob alle Felder befüllt sind.
9. System zeigt Element in den Elementen des Page Object an.

Vorgang abgebrochen Statt Schritt 7-9:

7. Entwickler bricht Vorgang ab.
8. System ändert internen Zustand nicht.

Validierung fehlgeschlagen Statt Schritt 9:

9. System zeigt Fehlermeldung an.
10. Entwickler bestätigt Fehlermeldung.

Weiter mit Punkt 6.

A.1.3. Neue Transition hinzufügen

Kurzbeschreibung:	Entwickler legt einen Seitenübergang zu einem anderen Page Object an.
Akteure:	Entwickler
Motivation:	Entwickler benötigt einen Übergang zu einer anderen Seite in den Testfällen.
Vorbedingung:	Page Object bereits angelegt. Page Object das Ziel des Seitenübergangs ist wurde bereits angelget.
Eingehende Daten:	Interner Name des Elements, Art des Selektors, Locator der das Element in der Seite identifiziert, Ziel Page Object.
Ergebnisse:	Transition wird in den Transitionen des Page Object angezeigt.
Nachbedingungen:	Transition wurde im Modell der Anwendung angelegt.

Ablauf

1. Entwickler wählt Page Object aus.
2. Entwickler wählt Bereich für die Transitionen des Page Objects aus.
3. System wechselt in den internen Zustand zum bearbeiten von Transitionen.
4. Entwickler startet den Vorgang zum anlegen eines neuen Eintrags.
5. System zeigt Dialog an.
6. Entwickler befüllt Dialog.
7. Entwickler bestätigt den Dialog.

8. System prüft ob alle Felder befüllt sind.
9. System zeigt Transition in den Transitionen des Page Object an.

Vorgang abgebrochen Statt Schritt 7-9:

7. Entwickler bricht Vorgang ab.
8. System ändert internen Zustand nicht.

Validierung fehlgeschlagen Statt Schritt 9:

9. System zeigt Fehlermeldung an.
10. Entwickler bestätigt Fehlermeldung.

Weiter mit Punkt 6.

A.1.4. Element aus HTML übernehmen

Kurzbeschreibung:	Entwickler legt teilautomatisiert ein neues Element im Page Object an.
Akteure:	Entwickler
Motivation:	Entwickler benötigt Element der Seite in den Testfällen.
Vorbedingung:	Page Object bereits angelegt.
Eingehende Daten:	Art des Locators nach dem die Seite durchsucht werden soll.
Ergebnisse:	Element wird in den Elementen des Page Object angezeigt.
Nachbedingungen:	Element wurde im Modell der Anwendung angelegt.

Ablauf

1. Entwickler wählt Page Object aus.
2. Entwickler startet aus der Anwendung heraus den Webbrowser mit der zum ausgewählten Page Object korrespondierenden Seite.
3. Entwickler wählt Art des Locators aus für den die Seite durchsucht werden soll.
4. Entwickler wählt Aktion zum Analysieren der ausgewählten Webseite aus.
5. System zeigt die für den ausgewählten Locator auf der Seite identifizierten Elemente an.

6. Entwickler wählt gewünschtes Element aus den Treffern aus.
7. Entwickler wählt Aktion zum übernehmen des Elements in das Page Object aus.
8. System zeigt Element in den Elementen des Page Object an.

Testen des Elements Statt Schritt 7-8:

7. Entwickler wählt Aktion zum Testen des ausgewählten Elements aus.
8. System zeigt an ob das Element auf der ausgewählten Webseite erfolgreich erreicht werden konnte.

Weiter mit Punkt 7.

A.1.5. Transition aus HTML übernehmen

Kurzbeschreibung:	Entwickler legt teilautomatisiert einen neuen Seitenübergang an.
Akteure:	Entwickler
Motivation:	Entwickler benötigt einen Übergang zu einer anderen Seite in den Testfällen.
Vorbedingung:	Page Object bereits angelegt. Page Object das Ziel des Seitenübergangs ist wurde bereits angelget.
Eingehende Daten:	Art des Locators nach dem die Seite durchsucht werden soll, Ziel Page Object.
Ergebnisse:	Transition wird in den Transition des Page Object angezeigt.
Nachbedingungen:	Transition wurde im Modell der Anwendung angelegt.

Ablauf

1. Entwickler wählt passendes Page Object aus.
2. Entwickler startet aus der Anwendung heraus den Webbrowser mit der zum ausgewählten Page Object korrespondierenden Seite.
3. Entwickler wählt Art des Locators aus für den die Seite durchsucht werden soll.
4. Entwickler wählt Aktion zum Analysieren der ausgewählten Webseite aus.
5. System zeigt die für den ausgewählten Locator auf der Seite identifizierten Elemente an.
6. Entwickler wählt gewünschtes Element aus den Treffern aus.

7. Entwickler wählt Aktion zum übernehmen des Elements als Transition in das Page Object aus.
8. System zeigt Dialog mit den Informationen des ausgewählten Elements an.
9. Entwickler ergänzt die Informationen um das Ziel Page Object der Transition.
10. Entwickler bestätigt den Dialog.
11. System prüft ob alle Felder befüllt sind.
12. System zeigt Element in den Transitionen des Page Object an.

Testen der Transition Statt Schritt 7-12:

7. Entwickler wählt Aktion zum Testen des ausgewählten Elements aus.
8. System zeigt an ob das Element auf der ausgewählten Webseite erfolgreich erreicht werden konnte.

Weiter mit Punkt 7.

Vorgang abgebrochen Statt Schritt 10-12:

10. Entwickler bricht Vorgang ab.
11. System ändert internen Zustand nicht.

Validierung fehlgeschlagen Statt Schritt 12:

12. System zeigt Fehlermeldung an.
13. Entwickler bestätigt Fehlermeldung.

Weiter mit Punkt 6.

A.1.6. Vorhandenen Eintrag editieren

Kurzbeschreibung:	Entwickler editiert bereits vorhandenen Eintrag.
Akteure:	Entwickler
Motivation:	Entwickler möchte einen bereits vorhandenen Eintrag überarbeiten.
Vorbedingung:	Eintrag bereits vorhanden.
Eingehende Daten:	Geänderte Werte.
Ergebnisse:	Eintrag wird in aktualisierter Form angezeigt.
Nachbedingungen:	Eintrag wurde im Modell der Anwendung aktualisiert.

Ablauf

1. Entwickler wählt den zu editierenden Eintrag aus.
2. Entwickler löst die Aktion zum Editieren der aktuellen Auswahl aus.
3. System zeigt Dialog mit den alten Werten des Eintrags an.
4. Entwickler nimmt die gewünschten Änderungen vor.
5. Entwickler bestätigt den Dialog
6. System prüft die Felder des Dialogs.
7. System zeigt den Eintrag in aktualisierter Form an.

Vorgang abgebrochen Statt Schritt 5-7:

5. Entwickler bricht Vorgang ab.
6. System ändert internen Zustand nicht.

Validierung fehlgeschlagen Statt Schritt 7:

7. System zeigt Fehlermeldung an.
8. Entwickler bestätigt Fehlermeldung.

Weiter mit Punkt 4.

A.1.7. Vorhandenen Eintrag löschen

Kurzbeschreibung:	Entwickler löscht bereits vorhandenen Eintrag.
Akteure:	Entwickler
Motivation:	Entwickler möchte einen bereits vorhandenen Eintrag löschen.
Vorbedingung:	Eintrag bereits vorhanden.
Eingehende Daten:	
Ergebnisse:	Eintrag wird nicht mehr angezeigt.
Nachbedingungen:	Eintrag wurde aus dem Modell der Anwendung entfernt.

Ablauf

1. Entwickler wählt den zu löschenden Eintrag aus.
2. Entwickler löst die Aktion zum Löschen der aktuellen Auswahl aus.
3. System entfernt den ausgewählten Eintrag.

Zu löschender Eintrag ist gesamtes Page Object Statt Schritt 3:

3. System zeigt einen Bestätigungsdialog an.
4. Entwickler bestätigt Dialog.

Weiter mit Punkt 3.

Vorgang abgebrochen Statt Schritt 4 des Sonderfalls ‘Zu löschender Eintrag ist gesamtes Page Object’:

4. Entwickler bricht Vorgang ab.
5. System ändert internen Zustand nicht.

A.1.8. Vorhandenen Eintrag testen

Kurzbeschreibung:	Entwickler testet einen vorhandenen Eintrag.
Akteure:	Entwickler
Motivation:	Entwickler möchte die Erreichbarkeit eines bereits vorhandenen Eintrags prüfen.
Vorbedingung:	Eintrag bereits vorhanden.
Eingehende Daten:	
Ergebnisse:	Eintrag ist mit dem Testergebnis markiert.
Nachbedingungen:	Modell der Anwendung ist unverändert.

Ablauf

1. Entwickler startet aus der Anwendung heraus den Webbrowser mit der Seite auf der sich der zu testende Eintrag befindet.
2. Entwickler wählt den zu testenden Eintrag aus.
3. Entwickler löst die Aktion zum Testen der aktuellen Auswahl aus.
4. System zeigt Ergebnis des Tests an.

A.1.9. Laden eines vorhandenen Modells

Kurzbeschreibung:	Entwickler lädt ein zuvor angelegt und gespeichertes Modell.
Akteure:	Entwickler
Motivation:	Entwickler möchte einen alten Speicherstand laden.
Vorbedingung:	Save Datei vorhanden.
Eingehende Daten:	Save Datei
Ergebnisse:	Zustand der Save Datei wiederhergestellt.
Nachbedingungen:	Modell der Anwendung wurde mit den Werten aus der Save Datei befüllt.

Ablauf

1. Entwickler wählt die Aktion zum Laden einer Save Datei aus.
2. System öffnet Auswahldialog.
3. Entwickler wählt Save Datei aus.
4. System zeigt die Einträge der Save Datei an.

Vorgang abgebrochen Statt Schritt 3:

3. Entwickler bricht Vorgang ab.
4. System ändert internen Zustand nicht.

A.1.10. Speichern eines vorhandenen Modells

Kurzbeschreibung:	Entwickler speichert einen Stand der Anwendung.
Akteure:	Entwickler
Motivation:	Entwickler möchte einen Stand der Anwendung zur späteren Wiederherstellbarkeit speichern.
Vorbedingung:	
Eingehende Daten:	
Ergebnisse:	Save Datei wurde angelegt.
Nachbedingungen:	Save Datei im Zielpfad vorhanden.

Ablauf

1. Entwickler wählt die Aktion zum Speichern eines Zwischenstands aus.
2. System öffnet Auswahldialog.
3. Entwickler wählt Ort zum Ablegen der Save Datei aus.
4. Entwickler gibt Namen für die Save Datei an.
5. Entwickler bestätigt Dialog.
6. System erzeugt Save Datei.

Vorgang abgebrochen Statt Schritt 5-6:

5. Entwickler bricht Vorgang ab.
6. System ändert internen Zustand nicht.

A.1.11. Page Objects generieren

Kurzbeschreibung:	Entwickler erzeugt Quellcode aus dem in der Anwendung erzeugten Modell.
Akteure:	Entwickler
Motivation:	Entwickler möchte aus einem Stand der Anwendung Page Object Klassen generieren.
Vorbedingung:	
Eingehende Daten:	
Ergebnisse:	Page Object Klassen wurden erzeugt.
Nachbedingungen:	Page Objects im Zielpfad vorhanden.

Ablauf

1. Entwickler wählt die Aktion zum Generieren der Page Objects aus.
2. System öffnet Auswahldialog.
3. Entwickler wählt Ort von dem ausgehend die Page Objects abgelegt werden sollen.
4. System generiert aus den Informationen des Aktuellen Modells der Anwendung die entsprechenden Page Object Klassen.

Vorgang abgebrochen Statt Schritt 3:

3. Entwickler bricht Vorgang ab.
4. System ändert internen Zustand nicht.

A.4. Beispiel für ein Velocity Template

Listing A.1: poGenerated.vm

```

1  #set( $BASE_PACKAGE = $basePackagePath )
2  #set( $GENERATED_PACKAGE = "$BASE_PACKAGE#if ( $poGeneric.getPackageName() &&
    $poGeneric.getPackageName().trim().size() != 0
    ).$poGeneric.getPackageName()#end" )
3  #set( $EDIT_PACKAGE = "$BASE_PACKAGE" )
4  #set( $CLASS_NAME = "$poGeneric.getIdentifier()Generated" )
5
6  package $GENERATED_PACKAGE;
7
8  import ${BASE_PACKAGE}.BasePo;
9  import ${BASE_PACKAGE}.Control;
10 import ${BASE_PACKAGE}.PageObject;
11 #foreach( $destPo in $destinationPos )
12 import $EDIT_PACKAGE#if ( $destPo.getPackageName() &&
    $destPo.getPackageName().trim().size() != 0
    ).$destPo.getPackageName()#end.$destPo.getIdentifier();
13 #end
14
15 public class $CLASS_NAME extends BasePo {
16
17 #foreach( $element in $poGeneric.getElements() )
18     public final Control $element.getIdentifier() =
        control(by.$element.getType().getByMethodName("$element.getLocator()"));
19 #end
20 #foreach( $transition in $poGeneric.getTransitions() )
21     public final Control $transition.getIdentifier() =
        control(by.$transition.getType().getByMethodName("$transition.getLocator()"));
22 #end
23     public $CLASS_NAME(PageObject po) {
24         super(po);
25     }
26 #foreach( $transition in $poGeneric.getTransitions() )
27

```

```
28     public $transition.getDestination().getIdentifier()
        click${display.capitalize($transition.getIdentifier())}() {
29         ${transition.getIdentifier()}.click();
30         return new $transition.getDestination().getIdentifier()(this);
31     }
32 #end
33 #foreach( $element in $poGeneric.getElements() )
34     /**
35      * Get the Control for the Element $transition.getIdentifier().
36      * @return $transition.getIdentifier() - Element
37      */
38     public Control get${display.capitalize($element.getIdentifier())}() {
39         return $element.getIdentifier();
40     }
41 #end
42 #foreach( $transition in $poGeneric.getTransitions() )
43     /**
44      * Get the Control for the Transition $transition.getIdentifier().
45      * @return $transition.getIdentifier() - Transition
46      */
47     public Control get${display.capitalize($transition.getIdentifier())}() {
48         return $transition.getIdentifier();
49     }
50
51 #end
52 }
```

Listing A.2: poEditable.vm

```
1 #set( $BASE_PACKAGE = $basePackagePath )
2 #set( $EDIT_PACKAGE = "$BASE_PACKAGE#if ( $poGeneric.getPackageName() &&
    $poGeneric.getPackageName().trim().size() != 0
    ).$poGeneric.getPackageName()#end" )
3 #set( $GENERATED_PACKAGE = "$BASE_PACKAGE#if ( $poGeneric.getPackageName() &&
    $poGeneric.getPackageName().trim().size() != 0
    ).$poGeneric.getPackageName()#end" )
4 #set( $CLASS_NAME = "$poGeneric.getIdentifier()" )
```

```
5  #set( $CLASS_NAME_SUPER = "$poGeneric.getIdentifier()Generated" )
6
7  package $EDIT_PACKAGE;
8
9  import ${BASE_PACKAGE}.BasePo;
10 import ${BASE_PACKAGE}.Control;
11 import ${BASE_PACKAGE}.PageObject;
12 import $GENERATED_PACKAGE.$CLASS_NAME_SUPER;
13
14 public class $CLASS_NAME extends $CLASS_NAME_SUPER {
15
16     public $CLASS_NAME(PageObject po) {
17         super(po);
18     }
19 }
```

Literatur

- [Ama+14] Y. Amannejad u. a. „A Search-Based Approach for Cost-Effective Software Test Automation Decision Support and an Industrial Case Study“. In: *2014 IEEE Seventh International Conference on Software Testing, Verification and Validation Workshops (ICSTW)*. 2014 IEEE Seventh International Conference on Software Testing, Verification and Validation Workshops (ICSTW). März 2014, S. 302–311. DOI: 10.1109/ICSTW.2014.34.
- [Apa15] Apache Software Foundation. *Apache Velocity Site - The Apache Velocity Project*. 16. Nov. 2015. URL: <http://velocity.apache.org/> (besucht am 16.11.2015).
- [Bou+08] Fabrice Bouquet u. a. „A Test Generation Solution to Automate Software Testing“. In: *Proceedings of the 3rd International Workshop on Automation of Software Test*. AST '08. New York, NY, USA: ACM, 2008, S. 45–48. ISBN: 9781605580302. DOI: 10.1145/1370042.1370052. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1370042.1370052> (besucht am 17.11.2014).
- [DL15] Bondurant Daniel und Kevin London. *wiredrive/wtframework*. GitHub. 20. Okt. 2015. URL: <https://github.com/wiredrive/wtframework> (besucht am 20.10.2015).
- [Dmy15] Dmytro Zharii. *dzharri/swd-recorder*. GitHub. 20. Okt. 2015. URL: <https://github.com/dzharri/swd-recorder> (besucht am 20.10.2015).
- [DRP99] Elfriede Dustin, Jeff Rashka und John Paul. *Automated Software Testing: Introduction, Management, and Performance*. Addison-Wesley Professional, 28. Juni 1999. 602 S. ISBN: 9780672333842.
- [Dus01] Elfriede Dustin. *Software automatisch testen*. Xpert.press. Berlin [u.a.]: Springer, 2001. XXIII, 649 S. ISBN: 9783540676393.
- [FG99] Mark Fewster und Dorothy Graham. *Software Test Automation Effective use of test execution tools*. Addison-Wesley, 1999. ISBN: 0201331403.

- [Har00] Mary Jean Harrold. „Testing: A Roadmap“. In: *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering*. ICSE '00. New York, NY, USA: ACM, 2000, S. 61–72. ISBN: 1581132530. DOI: 10.1145/336512.336532. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/336512.336532> (besucht am 28.10.2014).
- [Hed15] Jonathan Hedley. *jsoup Java HTML Parser, with best of DOM, CSS, and jquery*. 24. Nov. 2015. URL: <http://jsoup.org/> (besucht am 24.11.2015).
- [Hof13] Dirk W. Hoffmann. *Software-Qualität*. 2013. Aufl. Berlin: Springer, 2013. 568 S. ISBN: 9783540763222.
- [HP15] HP. *Testautomatisierung, Unified Functional Testing, UFT / HP® Deutschland*. 11. Aug. 2015. URL: <http://www8.hp.com/de/de/software-solutions/unified-functional-automated-testing/> (besucht am 11.08.2015).
- [Htt15] HttpUnit. *HttpUnit Home*. 11. Aug. 2015. URL: <http://httpunit.sourceforge.net/> (besucht am 11.08.2015).
- [IEE08] IEEE. *IEEE Std 829-2008 IEEE Standard for Software and System Test Documentation*. Juli 2008.
- [IEE91] IEEE. „IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries“. In: *IEEE Std 610* (Jan. 1991), S. 1–217. DOI: 10.1109/IEEESTD.1991.106963.
- [ISO01] ISO/IEC. *ISO/IEC 9126. Software engineering – Product quality*. 2001.
- [ISO11] ISO/IEC. *ISO/IEC 25010:2011 - Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models*. 2011. URL: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=35733 (besucht am 15.12.2015).
- [Joe15] Joe Walnes. *XStream - About XStream*. 16. Nov. 2015. URL: <http://x-stream.github.io/> (besucht am 16.11.2015).
- [Leo+13] M. Leotta u. a. „Repairing Selenium Test Cases: An Industrial Case Study about Web Page Element Localization“. In: *2013 IEEE Sixth International Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST)*. 2013 IEEE Sixth International Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST). März 2013, S. 487–488. DOI: 10.1109/ICST.2013.73.

- [Mes03] Gerard Meszaros. „Agile Regression Testing Using Record & Playback“. In: *Companion of the 18th Annual ACM SIGPLAN Conference on Object-oriented Programming, Systems, Languages, and Applications. OOPSLA '03*. New York, NY, USA: ACM, 2003, S. 353–360. ISBN: 1581137516. DOI: 10.1145/949344.949442. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/949344.949442> (besucht am 17.11.2014).
- [MPS00] Atif M. Memon, Martha E. Pollack und Mary Lou Soffa. „Automated Test Oracles for GUIs“. In: *Proceedings of the 8th ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering: Twenty-first Century Applications. SIGSOFT '00/FSE-8*. New York, NY, USA: ACM, 2000, S. 30–39. ISBN: 1581132050. DOI: 10.1145/355045.355050. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/355045.355050> (besucht am 17.11.2014).
- [Ora15] Oracle. *Client Technologies: Java Platform, Standard Edition (Java SE) 8 Release 8*. 16. Nov. 2015. URL: <http://docs.oracle.com/javafx> (besucht am 16.11.2015).
- [RAO92] D.J. Richardson, S.L. Aha und T.O. O'Malley. „Specification-based test oracles for reactive systems“. In: *International Conference on Software Engineering, 1992*. International Conference on Software Engineering, 1992. 1992, S. 105–118. DOI: 10.1109/ICSE.1992.753494.
- [Ros10] Thomas Rossner. *Basiswissen modellbasierter Test*. 1. Aufl. Heidelberg: dpunkt-Verl., 2010. XX, 404 S. ISBN: 9783898645898.
- [Roy87] W. W. Royce. „Managing the Development of Large Software Systems: Concepts and Techniques“. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Software Engineering. ICSE '87*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press, 1987, S. 328–338. ISBN: 9780897912167. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=41765.41801> (besucht am 13.07.2015).
- [RW06] Rudolf Ramler und Klaus Wolfmaier. „Economic Perspectives in Test Automation: Balancing Automated and Manual Testing with Opportunity Cost“. In: *Proceedings of the 2006 International Workshop on Automation of Software Test. AST '06*. New York, NY, USA: ACM, 2006, S. 85–91. ISBN: 1595934081. DOI: 10.1145/1138929.1138946. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1138929.1138946> (besucht am 28.10.2014).

-
- [Sch02] Ken Schwaber. *Agile software development with Scrum*. Pearson Internat. Ed. Series in agile software development. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education International, 2002. XVI, 158 S. : Ill., graph. Darst. ISBN: 9780132074896.
- [Sei12] Richard Seidl. *Basiswissen Testautomatisierung / Richard Seidl ; Manfred Baumgartner ; Thomas Bucsics*. 1. Aufl. Heidelberg: dpunkt-Verl., 2012. ISBN: 9783898647243.
- [Sel15a] Selenium. *Selenium Documentation*. 31. Aug. 2015. URL: <http://www.seleniumhq.org/docs/> (besucht am 31.08.2015).
- [Sel15b] Selenium. *Selenium - Test Design Considerations*. 29. Sep. 2015. URL: http://www.seleniumhq.org/docs/06_test_design_considerations.jsp (besucht am 29.09.2015).
- [Sel15c] Selenium. *Selenium - Web Browser Automation*. 11. Aug. 2015. URL: <http://www.seleniumhq.org/> (besucht am 11.08.2015).
- [Sil15] Silk Test. *Borland / Silk Test: Automation testing tool*. 11. Aug. 2015. URL: <http://www.borland.com/Products/Software-Testing/Automated-Testing/Silk-Test> (besucht am 11.08.2015).
- [SKM09] S.R. Shahamiri, W.M.N.W. Kadir und S.Z. Mohd-Hashim. „A Comparative Study on Automated Software Test Oracle Methods“. In: *Fourth International Conference on Software Engineering Advances, 2009. ICSEA '09*. Fourth International Conference on Software Engineering Advances, 2009. ICSEA '09. Sep. 2009, S. 140–145. DOI: 10.1109/ICSEA.2009.29.
- [SL07] Andreas Spillner und Tilo Linz. *Basiswissen Softwaretest*. 3. Aufl. Heidelberg: dpunkt-Verl., 2007. XV, 228 S. : Ill., graph. Darst. ISBN: 3898643581.
- [Sto+15] A. Stocco u. a. „Why Creating Web Page Objects Manually If It Can Be Done Automatically?“ In: *2015 IEEE/ACM 10th International Workshop on Automation of Software Test (AST)*. 2015 IEEE/ACM 10th International Workshop on Automation of Software Test (AST). Mai 2015, S. 70–74. DOI: 10.1109/AST.2015.26.
- [Tha02] Georg Erwin Thaller. *Software-Test*. 2., aktualisierte und erw. Aufl. Hannover: Heise, 2002. XI, 383 S. ISBN: 3882291982.
- [vir15] virtuetech GmbH. *OHMAP - Create page objects faster than ever before*. 20. Okt. 2015. URL: <http://ohmap.virtuetech.de/> (besucht am 20.10.2015).