



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

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	I
Zusammenfassung / Abstract	II
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	2
2.1 Software-Qualität	2
2.2 Softwaretest	3
2.3 Testautomatisierung	5
2.4 Testprozess	6
2.4.1 Testplanung und Steuerung	6
2.4.2 Testanalyse und Testdesign	7
2.4.3 Testrealisierung und Testdurchführung	8
2.4.4 Testauswertung und Bericht	8
2.4.5 Abschluss der Testaktivitäten	9
2.5 Vorgehensmodelle	9
2.5.1 Klassische Entwicklungsmodelle	10
2.5.2 Iterative und agile Entwicklungsmodelle	12
3 Testautomatisierung	14
3.1 Warum Testautomatisierung	14
3.1.1 Verringerung des Testaufwands und Reduzierung des Zeitplans	16
3.1.2 Verbesserung der Testqualität und Testtiefe	16
3.1.3 Kosten also Bewertungsgrundlage für die Testautomatisierung	16
3.1.4 Probleme der Testautomatisierung	20
3.2 Möglichkeiten der Testautomatisierung im Testprozess	21
3.2.1 Testdesign	21
3.2.2 Testcodeerstellung	26
3.2.3 Testdurchführung	29

3.2.4	Testauswertung	29
4	Testautomatisierung mit Selenium	31
4.1	Selenium	31
4.2	Testdurchführung mit Selenium	31
4.3	Testcodeerstellung mit Selenium	31
4.3.1	Record-and-playback	31
4.3.2	Manuell	31
4.3.3	Page Object Pattern	31
5	Teilautomatisierte Generierung von Page Objects	32
5.1	übersicht über die Idee	32
5.2	einordnung des Testharness und gui in die Gesamtstruktur (Deploymentdiagramm)	32
5.3	übersicht über Aufbau des Systems	32
5.3.1	pro modul ein kapitel	32
5.4	Vorteile und Probleme	32
5.5	Anwendung	32

1 Einleitung

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 fassen 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]

Nach Hoffmann [Hof13, vgl. S.6 ff.] wird aus dieser Definition 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 9126 [ISO01] bietet ein solches Qualitätsmodell und definiert damit eine Reihe von wesentlichen Merkmalen, die für die Beurteilung der Software-Qualität eine Rolle spielen. Diese Merkmale sind in der 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 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 analytische Qualitätssicherung versteht man den Einsatz von analysierenden bzw. prüfenden Verfahren, die Aussagen



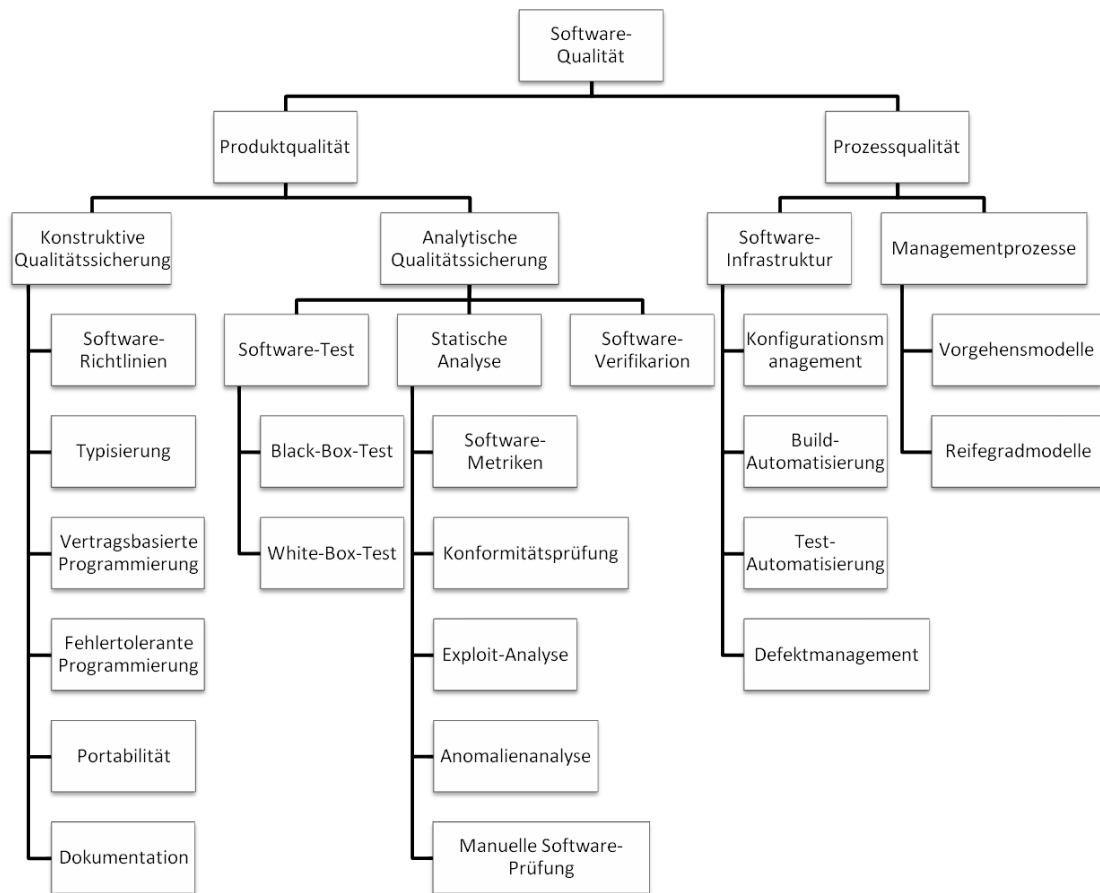
Abbildung 2.1: Qualitätsmerkmale von Softwaresystemen (ISO 9126)

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 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



Quelle: [Hof13, vgl. S.20]

Abbildung 2.2: Übersicht über das Gebiet der Software-Qualitätssicherung

- 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 winzige 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.

Dennoch ist der Software-Test laut Hofmann [Hof13, vgl. S.22] eines der am meisten verbreiteten Techniken zur Verbesserung der Softwarequalität. Um über lange Sicht gute Software zu produzieren reicht es jedoch nicht aus sich nur auf diese Technik allein zu stützen. Ein großer Nachteil des Softwaretests 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 steigen diese Kosten immer weiter an. 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 möglichen 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 Qualitätsmanagement 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 verfeinerter 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 so in kleinere Testaufgaben untergliedert. Testaufgaben, die man dabei unterscheidet 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.] 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 wurden. 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, umso 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, müssen auch geeignete Testendekriterien festgelegt werden. 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 Aufwandsschätzung. 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 Um-

gebung 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 Testendkriterien 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 Endkriterien 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 Wiederverstellbarkeit 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 es nach der Einführung auch noch. Die Testautomatisierung ist also nicht als Heilmittel für schlecht laufende Prozesse gedacht sondern als Möglichkeit sich einen bereits gut laufenden Prozess effizienter 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 Entwicklungsablaufes 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 größter 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.:

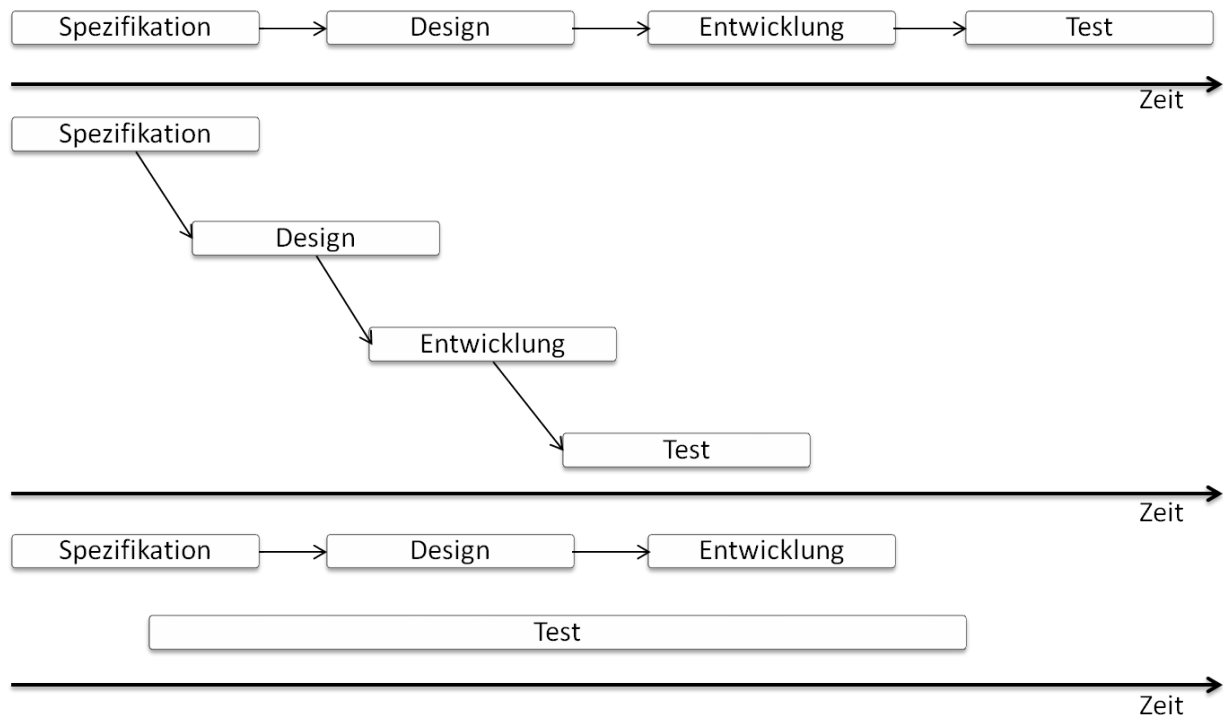
- Spezifikation
- Design
- Entwicklung
- Test

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.



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 Testfälle anfallen würden. Bei dieser Entscheidung 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 bestehenden 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

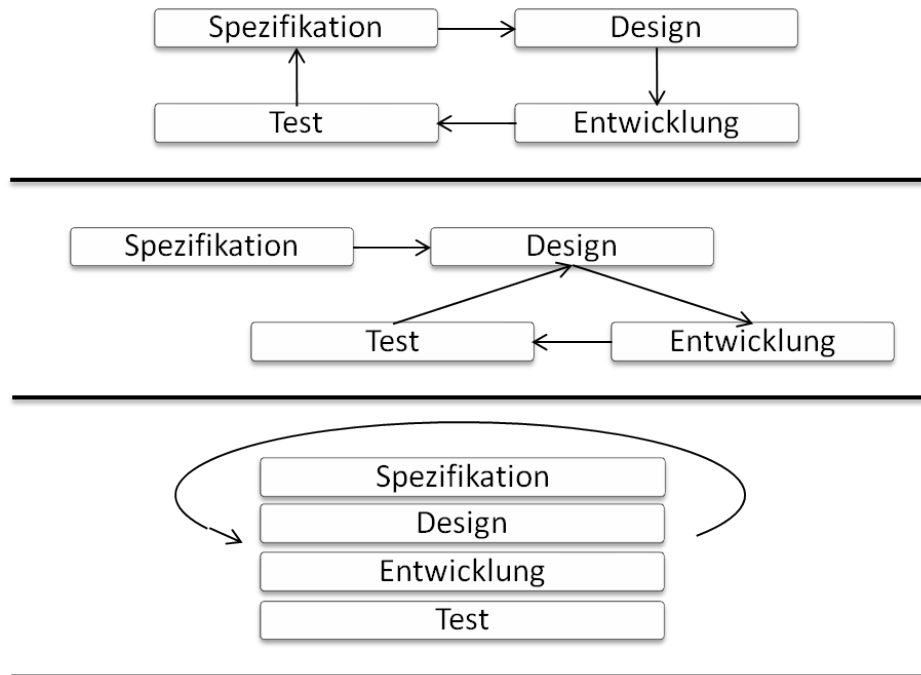
Testabdeckung ein Faktor sein sich für eine Automatisierung zu entscheiden. In manchen Fällen, wie beispielsweise Lasttests mit mehreren hundert Usern, kann eine Automatisierung auch unabdingbar werden.

2.5.2 Iterative und agile Entwicklungsmodelle

Als weitere Gruppe der Vorgehensmodelle nennen Seidl et al. [Sei12, vgl. S.23 ff.] die Iterative und agile 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. Für das Testen stellen diese kurzen Iterationen laut Seidl et al. [Sei12, vgl. S.24] ein Problem 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 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.



Quelle: [Sei12, vgl. S.24]

Abbildung 2.4: Verschiedene Ausprägungen iterativer und agiler Entwicklungsmodelle

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 verfolgen. 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 Punkte 2 und 3 gut durch diese repräsentiert werden. Sie lassen sich leicht mit den feiner ausformulierten Vorteilen unterfüttern. Punkt 1, 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 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 dann 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 Punkt 1 nur schwer direkt durch Vorteile belegt werden kann und eher eine Folge der Verbesserung in den anderen beiden Bereichen ist, wird er 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.

3.1.3 Kosten also 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

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.]

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.

V := Ausgaben für Testspezifikation und Implementierung

D := Ausgaben für einen einzelnen Testlauf

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.]

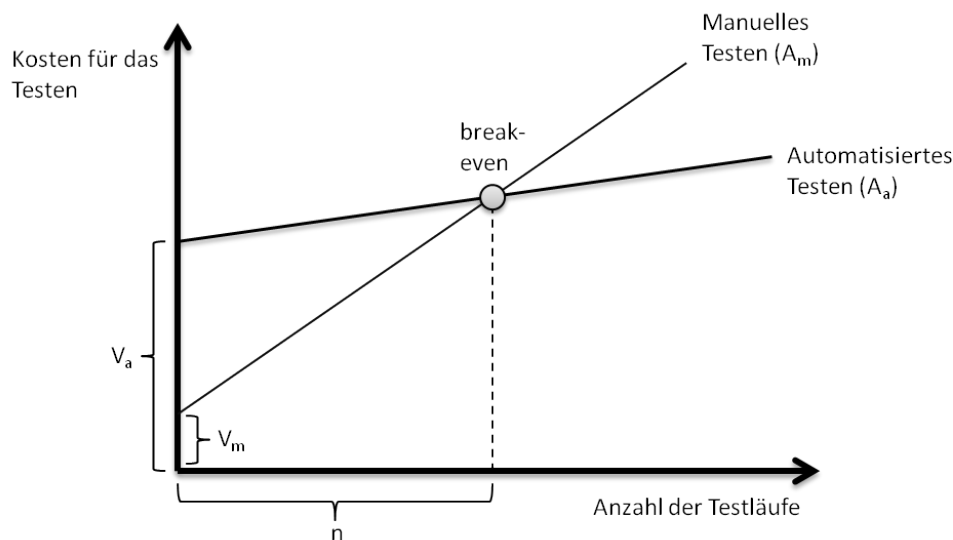
Mit Hilfe dieser beiden Variablen können die Kosten (A_a) für einen einzelnen automatisierte Testfall wie folgt angegeben werden:

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

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 Automatisiertes 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.



Quelle: [RW06]

Abbildung 3.2: Break-even Punkt für Testautomatisierung

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 Punkt 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 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. Ein 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. Ein weiterer positiver 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. [AGIS14] 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. 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

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.]

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

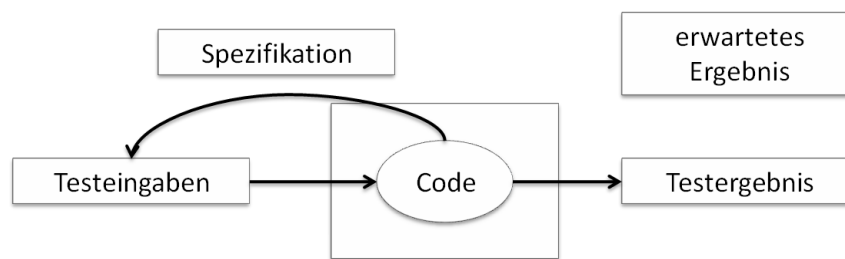
Diese Entwurfsmethoden kommen vor allem beim manuellen designen von Testfällen zum Einsatz, bieten aber auch die Möglichkeit toolgestützt und damit automatisiert abzulaufen. Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 19 ff.] beschreiben eine Reihe von weiteren Methoden zum erzeugen von Eingabedaten die vermehrt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

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

- Spezifikations-basierte Generierung von Eingabedaten

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]

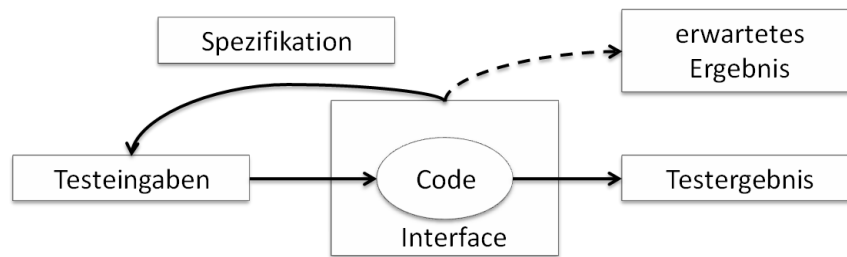


Quelle: [FG99, vgl. S. 19]

Abbildung 3.3: Code-basierte Generierung von Testfällen

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.



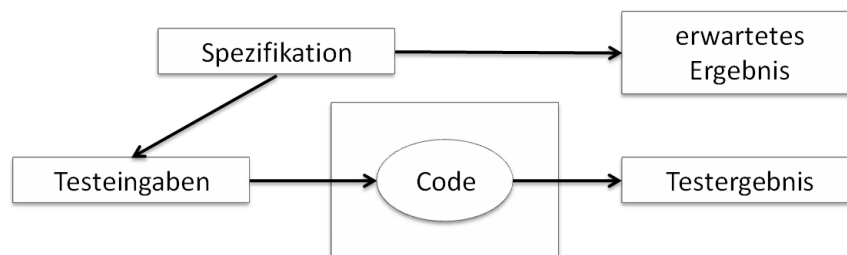
Quelle: [FG99, vgl. S. 20]

Abbildung 3.4: Interface-basierte Generierung von Testfällen

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’.



Quelle: [FG99, vgl. S. 21]

Abbildung 3.5: Spezifikations-basierte Generierung von Testfällen

3.2.2 Testcodeerstellung

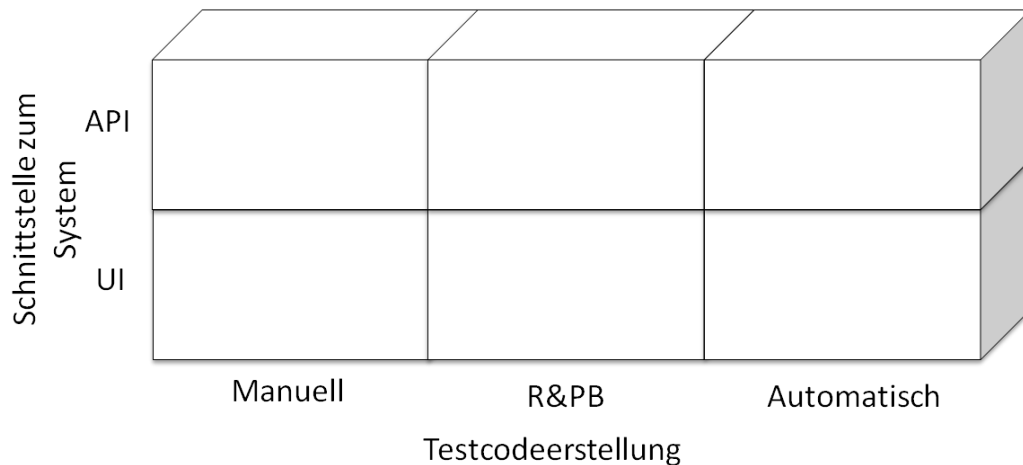
Bei der Testautomatisierung versteht man unter Testcodeerstellung das Erzeugen von Testskripten bzw. Testcode, der später wiederholt gestartet werden kann. Der erzeugte Code setzt die Testfälle um die zuvor in der Designphase gefunden wurden. In vielen Fällen handelt es sich dabei um einen manuellen Schritt. Die Testcodeerstellung ist oft eine reine Entwicklertätigkeit bei der ein Tester die angedachten Testfälle in Testcode implementiert. Aber auch in diesem Schritt sind laut Amannejad et al. [AGIS14] 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. [BGLP08] 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 automatisierten Testen abbildet. Eine grafische Darstellung dieser Matrix bietet Abbildung 3.6.



Quelle: vgl. [Mes03]

Abbildung 3.6: Verschiedene Möglichkeiten der Testcodeerstellung

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.

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 abzuprüfen. 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.

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 [Sel15]. 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 ein ‘XUnit-Frameworks‘ zur Testausführung verwenden. Diese Frameworks können um Aufsätze wie beispielsweise HttpUnit [Htt15] oder Selenium [Sel15] 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 Desktopanwendungen 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. [AGIS14] 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 Durchfüh-

rung 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] [SKMH09]. 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. [AGIS14] die Testauswertung als automatisiert. Mittels automatischer Testorakel kann diese Automatisierung jedoch noch ein höheres Level an Intelligenz erreichen.

4 Testautomatisierung mit Selenium

4.1 Selenium

4.2 Testdurchführung mit Selenium

4.3 Testcodeerstellung mit Selenium

4.3.1 Recorde-and-playback

Vorteile von Recorde-and-playback

Probleme von Recorde-and-playback

4.3.2 Manuell

4.3.3 Page Object Pattern

Vorteile des Page Object Pattern

Probleme des Page Object Pattern

5 Teilautomatisierte Generierung von Page Objects

5.1 übersicht über die Idee

5.2 einordnung des Testharness und gui in die Geamtstruktur (Deploymentdiagramm)

5.3 übersicht über Aufbau des Systems

5.3.1 pro modul ein kapitel

5.4 Vorteile und Probleme

5.5 Anwendung

Abbildungsverzeichnis

2.1	Qualitätsmerkmale von Softwaresystemen (ISO 9126)	3
2.2	Übersicht über das Gebiet der Software-Qualitätssicherung	4
2.3	Verschiedene Ausprägungen klassischer Entwicklungsmodelle	11
2.4	Verschiedene Ausprägungen iterativer und agiler Entwicklungsmodelle	13
3.1	Grenzen und Möglichkeiten der Testautomatisierung	15
3.2	Break-even Punkt für Testautomatisierung	19
3.3	Code-basierte Generierung von Testfällen	24
3.4	Interface-basierte Generierung von Testfällen	25
3.5	Spezifikations-basierte Generierung von Testfällen	25
3.6	Verschiedene Möglichkeiten der Testcodeerstellung	27

Tabellenverzeichnis

3.1	Verringerung des Testaufwands und Reduzierung des Zeitplans nach Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 9 ff.]	17
3.2	Verbesserung der Testqualität und Testtiefe nach Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 9 ff.]	18
3.3	Probleme der Testautomatisierung nach Fewster und Graham [FG99, vgl. S. 10 ff.]	22

Literaturverzeichnis

- [AGIS14] AMANNEJAD, Y. ; GAROUSI, V. ; IRVING, R. ; SAHAF, Z.: 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, S. 302–311
- [BGLP08] BOUQUET, Fabrice ; GRANDPIERRE, Christophe ; LEGEARD, Bruno ; PEUREUX, Fabien: A Test Generation Solution to Automate Software Testing. In: *Proceedings of the 3rd International Workshop on Automation of Software Test*. New York, NY, USA : ACM, 2008 (AST '08). – ISBN 978-1-60558-030-2, 45–48
- [DRP99] DUSTIN, Elfriede ; RASHKA, Jeff ; PAUL, John: *Automated Software Testing: Introduction, Management, and Performance*. Addison-Wesley Professional, 1999. – ISBN 978-0-672-33384-2
- [Dus01] DUSTIN, Elfriede: *Software automatisch testen*. Berlin [u.a.] : Springer, 2001 (Xpert.press). – ISBN 978-3-540-67639-3
- [FG99] FEWSTER, Mark ; GRAHAM, Dorothy: *Software Test Automation Effective use of test execution tools*. Addison-Wesley, 1999. – ISBN 0-201-33140-3
- [Har00] HARROLD, Mary J.: Testing: A Roadmap. In: *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering*. New York, NY, USA : ACM, 2000 (ICSE '00). – ISBN 1-58113-253-0, 61–72
- [Hof13] HOFFMANN, Dirk W.: *Software-Qualität*. 2013. Berlin : Springer, 2013. – ISBN 978-3-540-76322-2
- [HP15] HP: *Testautomatisierung, Unified Functional Testing, UFT / HP® Deutschland*. <http://www8.hp.com/de/de/software-solutions/unified-functional-automated-testing/>. Version: August 2015

- [Htt15] HTTPUNIT: *HttpUnit Home*. <http://httpunit.sourceforge.net/>. Version: August 2015
- [IEE91] IEEE: IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. In: *IEEE Std 610* (1991), Januar, S. 1–217. <http://dx.doi.org/10.1109/IEEESTD.1991.106963>. – DOI 10.1109/IEEESTD.1991.106963
- [IEE08] IEEE: *IEEE Std 829-2008 IEEE Standard for Software and System Test Documentation*. Juli 2008
- [ISO01] ISO/IEC: *ISO/IEC 9126. Software engineering – Product quality*. 2001. ISO/IEC, 2001
- [Mes03] MESZAROS, Gerard: Agile Regression Testing Using Record & Playback. In: *Companion of the 18th Annual ACM SIGPLAN Conference on Object-oriented Programming, Systems, Languages, and Applications*. New York, NY, USA : ACM, 2003 (OOPSLA '03). – ISBN 1–58113–751–6, 353–360
- [MPS00] MEMON, Atif M. ; POLLACK, Martha E. ; SOFFA, Mary L.: Automated Test Oracles for GUIs. In: *Proceedings of the 8th ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering: Twenty-first Century Applications*. New York, NY, USA : ACM, 2000 (SIGSOFT '00/FSE-8). – ISBN 1–58113–205–0, 30–39
- [Pro06] PROF. DR. R. LINDERMEIER: *Projekt- und Qualitätsmanagement Softwarequalität und Softwareprüfung*. 2006
- [RAO92] RICHARDSON, D.J. ; AHA, S.L. ; O'MALLEY, T.O.: Specification-based test oracles for reactive systems. In: *International Conference on Software Engineering, 1992*, 1992, S. 105–118
- [Ros10] ROSSNER, Thomas: *Basiswissen modellbasierter Test*. 1. Aufl. Heidelberg : dpunkt-Verl., 2010. – ISBN 978–3–89864–589–8
- [Roy87] ROYCE, W. W.: Managing the Development of Large Software Systems: Concepts and Techniques. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Software Engineering*. Los Alamitos, CA, USA : IEEE Computer Society Press, 1987 (ICSE '87). – ISBN 978–0–89791–216–7, 328–338

- [RW06] RAMLER, Rudolf ; WOLFMAIER, Klaus: 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*. New York, NY, USA : ACM, 2006 (AST '06). – ISBN 1–59593–408–1, 85–91
- [Sch02] SCHWABER, Ken: *Agile software development with Scrum*. Pearson Internat. Ed. Upper Saddle River, NJ : Pearson Education International, 2002 (Series in agile software development). – ISBN 978–0–13–207489–6
- [Sei12] SEIDL, Richard: *Basiswissen Testautomatisierung / Richard Seidl ; Manfred Baumgartner ; Thomas Bucsics*. 1. Aufl. Heidelberg : dpunkt-Verl., 2012. – ISBN 978–3–89864–724–3
- [Sel15] SELENIUM: *Selenium - Web Browser Automation*. <http://www.seleniumhq.org/>. Version: August 2015
- [Sil15] SILK TEST: *Borland / Silk Test: Automation testing tool*. <http://www.borland.com/Products/Software-Testing/Automated-Testing/Silk-Test>. Version: August 2015
- [SKMH09] SHAHAMIRI, S.R. ; KADIR, W.M.N.W. ; MOHD-HASHIM, S.Z.: A Comparative Study on Automated Software Test Oracle Methods. In: *Fourth International Conference on Software Engineering Advances, 2009. ICSEA '09*, 2009, S. 140–145
- [SL07] SPILLNER, Andreas ; LINZ, Tilo: *Basiswissen Softwaretest*. 3. Aufl. Heidelberg : dpunkt-Verl., 2007. – ISBN 3–89864–358–1
- [Tha02] THALLER, Georg E.: *Software-Test*. 2., aktualisierte und erw. Aufl. Hannover : Heise, 2002. – ISBN 3–88229–198–2