

FOM Hochschule für Oekonomie & Management Essen
Standort Duisburg



Berufsbegleitender Studiengang
Wirtschaftsinformatik, 7. Semester

Bachelor Thesis
zur Erlangung des Grades eines
Bachelor of Science (B. Sc.)

über das Thema

Testautomatisierung von PHP-Projekten dargestellt an einem Shopware Projekt

Betreuer: Dipl.-Kfm. Henning Mertes

Autor: Thomas Eiling
Matrikelnr.: 313489
Eichsfelder Weg 4b
46359 Heiden

Abgabe: 10. Dezember 2016

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	1
1.3 Grenzen und Bedingungen der Arbeit	1
1.4 Aufbau der Arbeit	1
2 Theoretische Grundlagen	2
2.1 Softwarequalität	2
2.1.1 Was ist Softwarequalität?	2
2.1.2 Interne Qualität	3
2.1.3 Externe Qualität	4
2.1.4 Technische Schulden	5
2.1.5 Konstruktive Qualitätssicherung	7
2.2 Clean Code	8
2.2.1 Was ist Clean Code?	8
2.2.2 Explizite und minimale Abhängigkeiten	9
2.2.3 Klare Verantwortlichkeiten	9
2.2.4 Keine Duplikation	10
2.2.5 Kurze Methoden mit wenigen Ausführungszweigen	10
2.3 Software-Metriken	10
2.4 Testen von Software	12
2.4.1 Einführung	12
2.4.2 Systemtests	14
2.4.2.1 Manuelle Tests im Browser	14
2.4.2.2 Automatisierte Tests	16
2.4.2.3 Akzeptanztests	17
2.4.2.4 Grenzen von Systemtests	18
2.4.3 Unit-Tests	19
2.4.4 Die Softwaretestpyramide	20
2.4.5 Integrationstests	21
2.4.6 GUI-Tests	22
2.4.7 Regressionstests	22
2.4.8 Mutation-Testing	23
2.5 Testgetriebene Entwicklung	23

2.6	Verhaltensgetriebene Entwicklung	24
3	Analyse	25
3.1	Ist-Analyse	25
3.2	Schwachstellen-Analyse	26
3.2.1	Allgemein	26
3.2.2	Schlechte Ressourcennutzung	26
3.2.3	Ineffizient	27
3.2.4	Sehr fehleranfällig	27
3.2.5	Gesunkenes Vertrauen	27
3.2.6	Review	27
3.2.7	Keine Regressionstests	28
3.2.8	Schlussfolgerung	28
3.3	SWOT-Analyse	28
3.3.1	Beschreibung	28
3.3.2	Durchführung	29
3.3.3	Stärken	29
3.3.4	Schwächen	30
3.3.5	Chancen	31
3.3.6	Gefahren	31
3.3.7	Auswertung	32
3.4	Soll-Konzept	33
3.4.1	Automatisierter Testprozess	33
3.4.2	Umsetzungsstrategien	33
4	Umsetzung von Testautomatisierung	36
4.1	Strukturelle Voraussetzungen	36
4.2	Auswahl der Testwerkzeuge	36
4.2.1	PHPUnit	36
4.2.2	Behat/Mink	37
4.2.3	Humbug	37
4.3	Technische Umsetzung	37
4.3.1	Softwarearchitektur	37
4.3.2	Unit-Tests	38
4.3.3	Integration	38
4.3.4	GUI-Testing	38
4.3.5	Mutation-Testing	38
5	Fazit	39

Literaturverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

ASCII American Standard Code for Information Interchange

CSV Comma Separated Value

ECSV Encapsulated Comma Separated Value

ERP Enterprise-Resource-Planing

GUI Graphical user interface

Abbildungsverzeichnis

1	Relative Kosten von Fehlerbehebungen	7
2	Softwaretestpyramide	20

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Ausgehend von einer Shopware ERP Schnittstelle, werden die gängigen Testautomatisierungen im PHP Umfeld in dieser Bachelor-Thesis

1.2 Zielsetzung

1.3 Grenzen und Bedingungen der Arbeit

1.4 Aufbau der Arbeit

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Softwarequalität

2.1.1 Was ist Softwarequalität?

Wichtige Einflussfaktoren für spätere Wartungsaufwände werden bei einem großen Softwaresystem bereits zur Entwicklungszeit festgelegt. Neben einer wartungsfreundlichen und durchdachten Architektur bestimmt vor allem die Qualität des Quellcodes darüber, ob ein System leicht verständlich, einfach durchschaubar und damit ohne große Aufwände anpassbar ist. Komplizierte Prozeduren, überlange Module, fehlende Kommentierungen oder Verstöße gegen Coding-Standards erschweren dagegen den Durchblick und damit spätere Anpassungen durch das Wartungsteam.

Doch was verstehen wir eigentlich unter der Qualität von Software? Das bei Hewlett-Packard entwickelte FURPS¹ ist ein Beispiel für ein Softwarequalitätsmodell, das verschiedene Aspekte von Softwarequalität berücksichtigt. Die Buchstaben des Akronym stehen für

- Functionality (Funktionalität)
- Usability (Gebrauchstauglichkeit)
- Reliability (Zuverlässigkeit)
- Performance (Effizienz)
- Supportability (Wartbarkeit)

In der Einleitung von Software-Qualität: Testen, Analysieren und Verifizieren von Software beschreibt der Autor, dass Softwarequalität facettenreich ist:

„Jedes Unternehmen, das Software entwickelt, bemüht sich, die beste Qualität auszuliefern. Man kann ein Ziel aber nur dann nachweisbar erreichen, wenn es präzise definiert ist, und das gilt für den Begriff „beste Qualität“ nicht. Softwarequalität ist facettenreich. Viele Eigenschaften einer Software ergeben gemeinsam die Software-Qualität. Nicht alle diese Eigenschaften sind gleichermaßen für den Benutzer und den Hersteller einer Software wichtig.“²

Die Anwender einer Applikation haben demzufolge eine andere Sicht auf die Qualität als die umsetzenden Softwareentwickler. Wir definieren diese unterschiedlichen Sichtweisen

¹Deborah Caswell (1987), Vgl. S. 159.

²Liggesmeyer (2009), S 1-3.

als externe beziehungsweise interne Qualität. Nigel Bevan erläutert diesen Ansatz, der in der Norm ISO/IEC 9126-1³ spezifiziert ist, sehr ausführlich⁴. In den Folgenden Abschnitten findet eine genaue Betrachtung der beiden Sichtweisen statt.

2.1.2 Interne Qualität

Die Bedürfnisse der Entwickler beziehungsweise der Administratoren einer Anwendung machen deren interne Qualität aus. Beispielsweise ist für Softwareentwickler wichtig, dass der Code einfach zu lesen, zu verstehen, anzupassen und zu erweitern ist. Ist dies nicht der Fall, so wird es mit der Zeit immer schwieriger, die kontinuierlich gestellten und meist unvorhersehbaren Änderungswünsche des Kunden umzusetzen. Dieser weiß selber am Anfang eines Projektes nicht was die perfekte Lösung ist, da die Problemdomäne in der Regel nicht konkret greifbar für ihn ist. Irgendwann führen selbst minimale Änderungen an der Software zu unerwarteten Seiteneffekten und damit zu hohen Entwicklungskosten.

Die interne Qualität von Software ist für die Auftraggeber und Endbenutzer zunächst kaum wahrnehmbar. Für die Anwender einer Software muss diese die primär an sie gestellten funktionalen Anforderungen weitestmöglich erfüllen, und sie muss leicht und intuitiv zu bedienen sein. Ist die Anwendung bei der Abnahme dann noch „schnell genug“ ist, sind viele Auftraggeber und dessen Endanwender zufrieden.

Mangelnde oder sogar gänzlich fehlende interne Qualität wird erst auf längere Sicht spürbar. Mit der Zeit stellt man fest, dass die Bearbeitungszeit, bis scheinbar einfache bis triviale Fehler behoben sind, lang wenn nicht sogar sehr lange Zeit dauern. Erweiterungen an der Software oder Änderungen sind nur mit äußerst großem Aufwand realisierbar. In den meisten Fällen bitten die Entwickler kurz oder lang oft darum Ressourcen zu erhalten, um den Code aufzuräumen, sogenanntes refaktorisieren zu betreiben. Refaktorisierung wird von Fowler wie folgt beschrieben:

"Eine Refaktorisierung ist eine Änderung an der internen Struktur einer Software ohne ihr beobachtbares Verhalten zu ändern."⁵

Oftmals wird eine solche Refaktorisierung des Codes allerdings nicht (regelmäßig) durchgeführt, weil Auftraggeber oder Management den Entwicklern nicht die notwendigen Spielräume einräumen.

³ISO/IEC 9126-1: *Software Engineering – Product quality – Part 1: Quality model*, 2008-07-29 (2008).

⁴Bevan (1999).

⁵Fowler (2000), Seite xviii.

Automatisierte Entwicklertests auf Modulebene sogenannte Unit-Tests, ermöglichen die unmittelbare Überprüfung, ob durch eine Änderung neue Fehler eingeführt oder bestehende Funktionalitäten unbewusst verändert wurden. Ohne diese Tests ist die Refaktorisierung von Quellcode nur unter hohen Risiken möglich oder extrem hohen manuellen Testaufwänden.

Ein Ziel der Qualitätssicherung, oder genauer genommen des Projektmanagements/Qualitätsmanagements, muss daher sein, für alle am Projekt beteiligten Parteien die Kosten und den Nutzen von interner Qualität transparent und bewusst zu machen. Gelingt es, die Kosten zu quantifizieren, die durch schlechte interne Qualität langfristig entstehen, kann man darauf basierend im Rückschluss die Kostenersparnis aufzeigen, die Code von hoher interner Qualität ermöglichen würde. Das ist eine wichtige Voraussetzung dafür, dass ein offizielles Budget zur Verwendung von Code-Refaktorisierung berücksichtigt wird.

2.1.3 Externe Qualität

Der Kunde beziehungsweise der Benutzer einer Anwendung interessiert sich für diejenigen Qualitätsaspekte, die für ihn greifbar sind. Diese machen die sogenannte externe Qualität der Anwendung aus und umfassen unter anderem:⁶

- **Funktionalität** bezeichnet die Fähigkeit der Anwendung, die an sie gestellten Aufgaben den Anforderungen entsprechend zu erfüllen.
- **Gebrauchstauglichkeit** meint, dass ein Nutzer eine Anwendung effizient, effektiv und zufriedenstellend nutzen kann. Hierzu gehört auch die Barrierefreiheit.
- **Reaktionsfreudigkeit** bedeutet, dass die Antwortzeiten einer Anwendung auch unter Last die Benutzer zufrieden stellen.
- **Sicherheit**, gerade auch die gefühlte Sicherheit der Benutzer, ist ein weiterer wichtiger Faktor für den Erfolg einer Anwendung.
- **Verfügbarkeit** und **Zuverlässigkeit** sind im Umfeld von Web-Plattformen mit hohem Nutzeraufkommen wichtige Themen. Die Anwendung muss auch unter großer Last funktionstüchtig sein und selbst in ungewöhnlichen Situationen sinnvoll funktionieren.

Alle Aspekte der externen Qualität haben einen Punkt gemeinsam, sie lassen sich durch End-to-End-Tests, also Tests, die eine gesamte Anwendung testen, überprüfen und validieren.

⁶Stefan Priebisch (2013), Vgl. Seite 5.

Beispielsweise werden die Anforderungen, die der Kunde an sein Produkt stellt, in sogenannten Akzeptanztests aufgeschrieben. Mit diesen Tests lässt sich automatisch verifizieren, ob die Anwendung die vom Auftraggeber erwarteten funktionalen Anforderungen erfüllt. Zusätzlich verbessern diese Akzeptanztests die Kommunikation zwischen dem Entwickler der Software und dem Kunden der diese beauftragt hat.

Für Optimierungen in Bezug auf die Reaktionsfreudigkeit ist unter anderem das Messen der Reaktions- und Antwortzeit relevant. Man benötigt Werkzeuge und Techniken, mit denen man diejenigen Verbesserungen finden kann, die bei minimalem Aufwand und minimalen Kosten den größten Nutzen versprechen. Sowohl Entwickler als auch Administratoren sind beim Capacity Planning dafür verantwortlich, diejenigen Teile der Anwendung zu identifizieren, die zukünftig möglicherweise zu Flaschenhälsen, sogenannten Bottlenecks, werden können, wenn die Anwendung geändert wird oder das Nutzeraufkommen wächst. Diese Informationen sind unverzichtbar, um die Qualität einer Anwendung in Bezug auf Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit dauerhaft zu sichern.

2.1.4 Technische Schulden

Auf Ward Cunningham geht der Begriff der „technischen Schulden“ (englisch: Technical Debt) zurück:

„Although immature code may work fine and be completely acceptable to the customer, excess quantities will make a program unmasterable, leading to extreme specialization of programmers and finally an inflexible product. Shipping first time code is like going into debt. A little debt speeds development so long as it is paid back promptly with a rewrite. Objects make the cost of this transaction tolerable. The danger occurs when the debt is not repaid. Every minute spent on not-quite-right code counts as interest on that debt. Entire engineering organizations can be brought to a stand-still under the debt load of an unconsolidated implementation, object-oriented or otherwise.“⁷

Cunningham vergleicht schlechten Quellcode mit einer Art von Hypothek, für das natürlich auch Zinsen fällig werden. Es kann durchaus sinnvoll oder gar notwendig sein, eine Hypothek aufzunehmen, wenn dadurch das Produkt schneller vermarktungsfähig ist. Findet aber keine Tilgung der Hypothek statt, durch die Refaktorisierung der Codebasis und somit eine Steigerung der interne Qualität, dann entstehen langfristig erhebliche Kosten für die anfallenden Zinszahlungen. Wenn sich mit der Zeit die Schulden anhäufen, dann nehmen die dafür Notwendigen Zinszahlungen einem mehr und mehr den Spielraum, bis man schließlich Konkurs anmelden muss. Auf die Software-Entwicklung übertragen bedeutet dies, dass man eine Anwendung als unwartbar bezeichnet. Die Kosten für jede

⁷Cunningham (1992), Vgl.

noch so kleine Änderung sind so hoch gestiegen, dass es unwirtschaftlich ist, den Code weiter zu warten geschweige weiterzuentwickeln.

Mangelnde interne Qualität von Software wird besonders oft dann zu einem Problem, wenn die zu entwickelnde Software an externe Agenturen/Dienstleister ausgelagert wird und der Auftraggeber primär an niedrigen Kosten und einer kurzen Time-to-Market gelegen ist. Da die Qualitätssicherung und insbesondere das Schreiben von Unit-Tests die Kosten im Projekt zunächst erhöhen, ohne dass den Kosten einen unmittelbaren und messbaren Nutzen gegenübersteht. Dadurch hat der beauftragte Dienstleister in den meisten Fällen kaum Freiräume, geschweige denn eine Motivation, um qualitativ hochwertigen Quellcode zu produzieren. Mittel- und Langfristig macht sich der Schaden für den Auftraggeber in Form von deutlich höheren Wartungskosten bemerkbar.

Es ist daher für jedes Software-Projekt und insbesondere beim Outsourcing besonders wichtig, dass nicht nur die zu erfüllenden Kriterien bezüglich der externen Qualität festgelegt werden, sondern vom Auftraggeber auch ein sinnvolles Maß an interner Qualität eingefordert wird. Selbstverständlich muss der Auftraggeber dazu dem Dienstleister im Projekt auch einen gewissen finanziellen und zeitlichen Spielraum zugestehen.

Die Betriebs- und Wartungskosten für Software sind meistens zu niedrig kalkuliert da diese unterschätzt werden. Eine Realisierung eines mittelgroßen Software-Projekt dauert vielleicht ein oder zwei Jahre, die resultierende Anwendung ist aber in der Regel für Jahrzehnte in Betrieb. Jedenfalls meistens deutlich länger als bei der Planung ursprünglich gedacht. Der größte Kostenblock für Anwendungen mit langer Nutzungsdauer sind meist der Betrieb und die Wartung. Dies gilt besonders für Anwendungen, die häufigen Änderungen unterliegen. Gerade für Webanwendungen sind häufige Anpassungen typisch.

Andere Anwendungen die zum Beispiel für Großrechner im Finanzsektor oder hochverfügbare Telefonvermittlungen ihren Einsatz finden, müssen dagegen nur selten verändert werden. Während hier eine Änderung pro Quartal schon einen kurzen Änderungsintervall darstellt, sind für viele Webanwendungen mehrere Releases pro Monat oder sogar Wöchentlich schon längst die Regel.

Ron Jeffries ermahnt Softwareentwickler, nicht an der internen Qualität zu sparen, um die Entwicklung schneller voran zu bringen: „If slacking on quality makes us go faster, it is clear evidence that there is room to improve our ability to deliver quality rapidly.“⁸

Es liegt auf der Hand, dass der Wert von interner Qualität mit zunehmender Änderungshäufigkeit von Anwendungen deutlich zunimmt. Im Artikel "The ROI of Systems Engineering: Some Quantitative Results for Software-Intensive Systems" beschreiben die Autoren, dass die Kosten für das Beheben eines Fehlers in der Code-Phase zehnmal, in

⁸Jeffries (2010), Vgl.

der Operations-Phase sogar mehr als hundertmal höher sind als in der Requirements-Phase. Dies zeigt eindeutig, dass es aus rein betriebswirtschaftlichen Gründen absolut widersprüchlich ist, die Kosten in einem Software-Projekt in die Zukunft zu verlagern, da die Notwendigkeit von einer guten internen Qualität mit Dauer des Projektes exponentiell steigt. In der Abbildung 1 ist die Kostenstruktur noch einmal visualisiert.

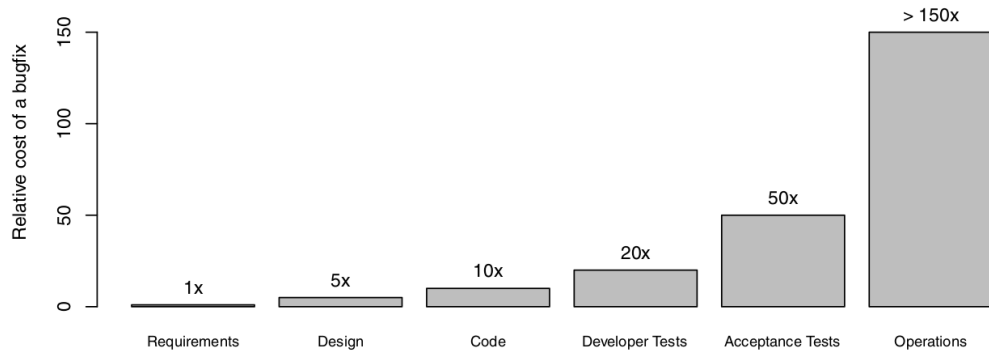


Abbildung 1: Relative Kosten von Fehlerbehebungen

2.1.5 Konstruktive Qualitätssicherung

Die Capability Maturity Model Integration (CMMI) und die Software Process Improvement and Capability Determination (SPICE) [ISO/IEC 15504] sowie [ISO/IEC 12207] fassen den Begriff der Qualitätssicherung enger, als er oft verwendet wird, denn das Testen wird nicht eingeschlossen [Foegen 2007]. Die Maßnahmen von CMMI und SPICE für die Aufbau- und Ablauforganisation sind jedoch die Voraussetzung für den Erfolg von analytischen Maßnahmen wie Test und Review der fertigen Software sowie konstruktiven Maßnahmen der Qualitätssicherung. [Schneider 2007] definiert konstruktive Qualitätssicherung als Maßnahmen, die bereits bei der Konstruktion von Software auf die Verbesserung ausgewählter Qualitätsaspekte abzielen und nicht erst nachträglich durch Prüfung und Korrektur.

Die Erkenntnis, dass das Vermeiden von Fehlern besser ist als das nachträgliche Finden und Beheben von Fehlern, ist nicht neu. Schon in [Dijkstra 1972] können wir lesen:

„Those who want really reliable software will discover that they must find means of avoiding the majority of bugs to start with, and as a result the programming process will become cheaper. If you want more effective programmers, you will discover that they should not waste their time debugging – they should not introduce bugs to start with.“

Ein Ansatz, der das Schreiben von fehlerhafter Software verhindern soll, ist die Test-First- Programmierung. Sie gehört zu den technisch geprägten Praktiken, die als Bestandteil moderner Software-Entwicklungsprozesse zur konstruktiven Qualitätssicherung

beitragen. Der Testcode wird hierbei vor dem getesteten Code, dem sogenannten Produktionscode, geschrieben. Die hierauf aufbauende testgetriebene Entwicklung (englisch: Test-Driven Development) führt im Idealfall dazu, dass . . .

- es keinen Produktionscode gibt, der nicht durch einen Test motiviert ist. Dies reduziert das Risiko, Produktionscode zu schreiben, der nicht benötigt wird.
- es keinen Produktionscode gibt, der nicht durch mindestens einen Test abgedeckt (Code-Coverage) ist, und damit Änderungen am Produktionscode nicht zu unbeachteten Seiteneffekten führen können.
- testbarer Produktionscode, und damit sauberer Code (siehe nächster Abschnitt), geschrieben wird.
- die „Schmerzen“, die bestehender schlechter Code verursacht, verstärkt werden, da dieser nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand getestet werden kann. Dies motiviert dazu, bestehenden schlechten Code durch Refaktorisierung konsequent zu verbessern.

Studien wie z.B. "Software Architecture Improvement through Test-Driven Development" zeigen, dass die testgetriebene Entwicklung zu signifikanten Verbesserungen der Produktivität der Entwickler sowie der Softwarequalität führen kann. Die Anpassung zwischen konstruktiver Qualitätssicherung und normaler Softwareentwicklung ist fließend. Beispielsweise wird die Anpassbarkeit der Software durch den Einsatz von objektorientierter Programmierung und die Verwendung von Entwurfsmustern verbessert. Das entwickeln von sauberem Code (siehe nächster Abschnitt) sowie die Verwendung von architekturellen Mustern wie Schichtenarchitektur, serviceorientierte Architektur oder Domain-Driven Design führen, sofern sie richtig umgesetzt werden, zu deutlichen Verbesserungen in Bezug auf Testbarkeit, Wartbarkeit und Wiederverwendbarkeit der einzelnen Komponenten der Software.⁹

2.2 Clean Code

2.2.1 Was ist Clean Code?

Die Frage Was ist clean Code? lässt Robert C. Martin in seinem Buch Clean Code [Martin 2008] unter anderem Dave Thomas beantworten:

„Sauberer Code kann von anderen Entwicklern gelesen und verbessert werden. Er verfügt über Unit- und Acceptance-Tests. Er enthält bedeutungsvolle Namen. Er stellt zur Lösung

⁹Janzen (2006), Vgl.

einer Aufgabe nicht mehrere, sondern eine Lösung zur Verfügung. Er enthält minimale Abhängigkeiten, die ausdrücklich definiert sind, und stellt ein klares und minimales API zur Verfügung.“¹⁰

Steve Freeman und Nat Pryce führen den Gedanken in¹¹ mit der Aussage fort, dass Code, der einfach zu testen ist, gut sein muss:

„For a class to be easy to unit-test, the class must have explicit dependencies that can easily be substituted and clear responsibilities that can easily be invoked and verified. In software-engineering terms, that means that the code must be loosely coupled and highly cohesive – in other words, well-designed.“

In den Folgenden Abschnitten wollen wir diese Punkte genauer betrachten.

2.2.2 Explizite und minimale Abhängigkeiten

Die Abhängigkeiten einer zu testenden Methode müssen klar und explizit in der API definiert sein. Das bedeutet, dass benötigte Objekte entweder an den Konstruktor der entsprechenden Klasse oder an die Methode selbst übergeben werden müssen (Dependency Injection). Die benötigten Objekte sollen nicht im Rumpf der Methode erzeugt werden, da die Abhängigkeiten sonst nicht gekapselt sind und daher nicht gegen Stub- oder Mock-Objekte ausgetauscht werden können. Je weniger Abhängigkeiten eine Methode hat, desto einfacher gestaltet sich das Schreiben ihrer Tests.

2.2.3 Klare Verantwortlichkeiten

Das Single Responsibility Principle (SRP) verlangt, dass eine Klasse nur für eine fest definierte Aufgabe da ist. Sie sollte zusätzlich nur Methoden beinhalten, die direkt zur Erfüllung dieser Aufgabe beitragen. Es sollte nie mehr als einen validen Grund geben, diese Klasse zu ändern.¹²

Durch dieses Prinzip ist die Verantwortlichkeit einer Klasse klar definiert und zusätzlich lassen sich ihre Methoden einfach aufrufen und über ihre Rückgabewerte verifizieren. Somit sind alle Vorraussetzungen für das Schreiben der entsprechenden Unit-Tests vorhanden und die Umsetzung dessen ist trivial.

¹⁰Martin (2008), Vgl.

¹¹Nat Pryce (2009), Vgl.

¹²Martin (2002), Vgl.

2.2.4 Keine Duplikation

Eine Klasse, die versucht, zu viel zu tun, und keine klare Verantwortlichkeit hat, ist eine hervorragende Brutstätte für duplizierten Code, Chaos und Tod¹³[Vgl.]. Duplizierter Code erschwert die Wartung der Software, da die Konsistenz zwischen den einzelnen Duplikaten gewährleistet sein muss. Ein Fehler der von deinem ggf. neu an dem Projekt beteiligten Softwareentwickler behoben wird, ist nicht zwangsläufig an allen duplizierten Stellen behoben. Dies führt zu schwierigen Fehlersuchen und erhöht die Anfälligkeit der Software für Seiteneffekte.

2.2.5 Kurze Methoden mit wenigen Ausführungszweigen

Eine Methode ist umso schwerer zu verstehen, je länger sie ist. Eine kurze Methode lässt sich nicht nur einfacher verstehen und wiederverwenden, sondern ist auch einfacher zu testen. Je weniger Ausführungspfade eine Methode hat, desto weniger Tests werden benötigt.¹⁴

2.3 Software-Metriken

Für das Messen der internen Qualität gibt es verschiedene Software-Metriken. Sie sind eine Grundlage für das Quantifizieren der Kosten, die durch schlechte interne Qualität langfristig entstehen.

Testbarkeit ist ein wichtiges Kriterium für die Wartbarkeit im Softwarequalitätsmodell von ISO/IEC 9126-1¹⁵[Vgl.]. Es gibt in der Literatur mehrere Beispiele für Ansätze zur Quantifizierung von Testbarkeit basierend auf objektorientierten Software-Metriken.^{16,17}

Einen weiteren guten Überblick über objektorientierte Software-Metriken ist im Buch von gibt beispielsweise im Buch "Object-Oriented Metrics in Practice: Using Software Metrics to Characterize, Evaluate, and Improve the Design of Object-Oriented Systems" von Michele Lanza und Radu Marinescu.¹⁸

Man darf jedoch niemals vergessen, dass Metriken lediglich Indikatoren für Qualitätsprobleme sind. Metriken sollten immer als Hinweise auf bestimmte Stellen im Code verstanden werden, die man sich als Mensch ansehen sollte, um jeweils selbst zu beurteilen, ob und im welchem Maße der Code tatsächlich problematisch ist.

¹³Fowler (2000).

¹⁴Stefan Priebisch (2013), Vgl. Seite 9.

¹⁵ISO/IEC 9126-1: *Software Engineering – Product quality – Part 1: Quality model*, 2008-07-29 (2008).

¹⁶Arie van Deursen (2004), Vgl. Seite 136-145.

¹⁷K. Mustafa (2009), Vgl. Seite 1 - 6.

¹⁸Radu Marinescu (2009), Vgl.

Im Folgenden betrachten wir einige Software-Metriken, die für die Testbarkeit besonders relevant sind.

- **Zyklomatische Komplexität und NPath-Komplexität** Die zyklomatische Komplexität (englisch: Cyclomatic Complexity) ist die Anzahl der möglichen Entscheidungspfade innerhalb eines Programms beziehungsweise innerhalb einer Programmeinheit, normalerweise einer Methode oder Klasse.¹⁹ Sie wird durch Zählen der Kontrollstrukturen und booleschen Operatoren innerhalb der Programmeinheit berechnet und sagt etwas über die strukturelle Schwierigkeit einer Programmeinheit aus. McCabe geht davon aus, dass die einfache Abfolge von sequenziellen Befehlen einfacher zu verstehen ist als eine Verzweigung im Programmfluss.

Eine hohe zyklomatische Komplexität ist ein Indikator dafür, dass eine Programmeinheit anfällig für Fehler und schwer zu testen ist. Je mehr Ausführungspfade eine Programmeinheit hat, desto mehr Tests werden benötigt. Die NPath-Komplexität²⁰ zählt die azyklischen Ausführungspfade. Um die Anzahl der Ausführungspfade endlich zu halten und redundante Informationen auszuschließen, berücksichtigt die NPath-Komplexität nicht jeden möglichen Schleifendurchlauf.

- **Change Risk Anti-Patterns (CRAP) Index** Der Change Risk Anti-Patterns (CRAP) Index, ursprünglich als Change Risk Analysis and Predictions Index bekannt, sagt nicht direkt etwas über die Testbarkeit aus. Er soll an dieser Stelle aber nicht unerwähnt bleiben, da er sich neben der Cyclomatic Complexity auch aus der durch die Tests erreichten Code-Coverage berechnet.

Code, der nicht zu komplex ist und über eine ausreichende Testabdeckung verfügt, weist einen niedrigen CRAP-Wert auf. Das Risiko, dass Änderungen an diesem Code zu unerwarteten Seiteneffekten führen, ist geringer als bei Code, der einen hohen CRAP-Wert aufweist. Letzteres ist für komplexen Code mit wenigen oder sogar gar keinen Tests der Fall.

Der CRAP-Wert kann entweder durch das Schreiben von Tests oder durch eine geeignete Refaktorisierung gesenkt werden. Beispielsweise helfen die Refaktorisierungen Methode extrahieren und Bedingten Ausdruck durch Polymorphismus ersetzen dabei, eine Methode zu verkürzen und die Anzahl der möglichen Entscheidungspfade – und damit die zyklomatische Komplexität – zu verringern.

- **Kohäsion und Kopplung**

Ein System mit starker Kohäsion besteht aus Komponenten, die nur für genau eine spezifizierte Aufgabe zuständig sind. Eine lose Kopplung ist dann erreicht, wenn

¹⁹McCabe (1976), Vgl. Seite 1-3.

²⁰Nejmeh (1988), Vgl. Seite 188-200.

Klassen voneinander weitgehend unabhängig sind und nur durch wohldefinierte Schnittstellen miteinander kommunizieren [Yourdon 1979].

Das Gesetz von Demeter²¹ verlangt, dass eine Methode eines Objekts nur Methoden desselben Objekts sowie von an die Methode per Parameter übergebenen und in der Methode erzeugten Objekten aufrufen darf. Die Einhaltung dieses Gesetzes führt zu loser Kopplung. Für die Testbarkeit ist es wichtig, auf das Erzeugen von Objekten im Rumpf einer Methode zu verzichten, um so alle ihre Abhängigkeiten gegen Stub- oder Mock-Objekte austauschen zu können. Es gibt empirische Belege, dass Verstöße gegen das Gesetz von Demeter Indikatoren für die erhöhte Fehleranfälligkeit einer Software sind.[Guo 2011]

2.4 Testen von Software

2.4.1 Einführung

In der klassischen, nicht-iterativen Software-Entwicklung sind Programmierung sowie Integrations- und Systemtests zwei getrennte Phasen im Projekt, die oft von unterschiedlichen Teams durchgeführt werden. Es ist durchaus sinnvoll, wenn die Entwickler nicht ihre eigene Arbeit testen. Ein unabhängiger Tester hat eine ganz andere Sichtweise auf die zu testende Anwendung, da er die Implementierung nicht kennt. Er kann also nur die Bedienoberfläche (oder Schnittstelle) einer Anwendung testen. Dabei bedient er die Anwendung ganz anders als ein Entwickler, der beim Test noch den Code vor Augen hat und daher intuitiv vorwiegend die Funktionalität überprüft, von der er eigentlich weiß, dass sie funktioniert. Ein unabhängiger Tester – bewährt haben sich übrigens auch Tests durch Personen, die zum ersten Mal mit der zu testenden Anwendung arbeiten – entwickelt im Idealfall ausreichend destruktive Kreativität, um die Arbeit des Entwicklers auf eine harte Probe zu stellen und die Anwendung etwa mit wirklich unsinnigen Eingaben, abgebrochenen Aktionen oder etwa manipulierten URLs herauszufordern.

Tests, die ohne Kenntnis der Implementierung durchgeführt werden, nennt man Black-Box-Tests. Tests, die anhand des Quellcodes der zu testenden Anwendung entwickelt werden, nennt man dagegen White-Box-Tests.

Auf den ersten Blick scheint das Testen von Webanwendungen besonders einfach zu sein. Das zu testende Programm erhält einen HTTP-Request, also einen String, vom Browser und erzeugt einen HTML-String, der an den Browser zurückgesendet und dort dargestellt wird. Natürlich können auch andere Ausgabeformate wie JSON oder XML erzeugt

²¹Lieberherr (1989), Vgl. Seite 67-78.

werden, aber auch diese sind nur Zeichenketten. Ein Test der Webanwendung muss überprüfen, ob das Programm für eine bestimmte Eingabe-Zeichenkette die korrekte erwartete Ausgabe-Zeichenkette erzeugt.

Während es in der Tat relativ einfach ist, die Korrektheit der Ausgabe für eine Eingabe zu prüfen, macht es bereits die unüberschaubar große Anzahl von möglichen Eingaben unmöglich zu überprüfen, ob das Programm für alle möglichen Eingaben eine korrekte Ausgabe erzeugt. Ein Programm erhält (leider) nicht nur sinnvolle Eingaben, deshalb kann man sich nicht einfach darauf zurückziehen, nur einige wenige sinnvolle Eingaben zu testen. In einer URL sind 73 verschiedene Zeichen (die alphanumerischen Zeichen in Klein- und Großschrift sowie einige Sonderzeichen) erlaubt, alle weiteren Zeichen müssen URL-kodiert werden. Würde man versuchen, alle URLs bis zu einer Länge von 20 Zeichen aufzuzählen (es gibt mehrere Sextillionen solcher URLs), und könnte pro Sekunde eine Million URLs aufzählen, dann bräuchte man dafür rund 10^{23} Jahre. Das bedeutet in der Praxis, dass man diese Aufgabe niemals fertigstellen wird, da die Sonne in voraussichtlich 10^9 Jahren zu einer Supernova wird und dabei die Erde vernichtet.

Durch Bildung von Äquivalenzklassen kann man die Anzahl der zu testenden Eingaben erheblich reduzieren. Unter einer Äquivalenzklasse versteht man eine Menge von Eingaben, für die der Programmablauf identisch ist, auch wenn mit anderen Variablen gerechnet wird. Nehmen wir an, Sie wollen ein Programm testen, das eine gegebene ganze Zahl inkrementiert. Es ist egal, ob dieses Programm eine Inkrement-Operation oder eine Addition verwendet (oder ganz anderes implementiert ist). Wenn wir davon ausgehen, dass PHP korrekt funktioniert, dann reicht es, eine einzige repräsentative Eingabe zu testen. Liefert das Programm für diese Eingabe ein richtiges Ergebnis, dann können wir davon ausgehen, dass es korrekt funktioniert, ohne dass wir es für alle ganzen Zahlen aufgerufen haben.

Besondere Beachtung verdienen Grenzwerte und unzulässige Eingaben. Diese bilden neben den „normalen“ Eingaben weitere Äquivalenzklassen, die ebenfalls jeweils einen Test erfordern. Was geschieht beispielsweise, wenn wir die höchste darstellbare Integer-Zahl inkrementieren? Und was geschieht, wenn wir versuchen, nichtnumerische Werte, beispielsweise eine Zeichenkette, zu inkrementieren?

In der Praxis ist es nicht immer ganz einfach, die Äquivalenzklassen zu identifizieren beziehungsweise mit repräsentativen Eingaben zu testen. Als Faustregel gilt, dass man immer zuerst den Erfolgsfall, den sogenannten *Happy Path*, testen sollte. Danach widmet man sich Grenzwerten, also beispielsweise dem höchsten zulässigen Wert sowie dem höchsten zulässigen Wert plus eins beziehungsweise dem niedrigsten Wert und seinem Vorgänger. Nun kann man unsinnige Eingaben testen, etwa NULL-Werte oder falsche Datentypen.

Für Black-Box-Tests ist das Identifizieren von Äquivalenzklassen schwieriger als für White-Box-Tests, bei denen man sich an den Fallunterscheidungen beziehungsweise den verschiedenen Ausführungspfaden orientieren kann.

Da HTTP ein zustandsloses Protokoll ist, gibt es per Definition keinerlei Abhängigkeiten zwischen zwei aufeinanderfolgenden HTTP-Requests. Das Testen einer auf HTTP basierenden Anwendung scheint also wiederum besonders einfach, da jeder HTTP-Request, also jede Eingabe, nur ein einziges Mal getestet werden muss.

Wie wir aber alle wissen, wird die Zustandslosigkeit von HTTP in den meisten Webanwendungen durch die Verwendung von Cookies und eine serverseitige Session-Verwaltung durchbrochen. Ohne einen Zustand könnte die Anwendung nicht zwischen einem anonymen und einem angemeldeten Benutzer unterscheiden, beziehungsweise man müsste die Zugangsdaten mit jedem HTTP-Request erneut übertragen.

Da eine zustandsbehaftete Anwendung je nach ihrem Zustand unterschiedlich auf Eingaben reagieren kann, reicht es noch nicht einmal mehr aus, alle möglichen Eingaben zu testen, obwohl wir schon wissen, dass es davon deutlich mehr gibt, als uns lieb sein kann. Um eine zustandsbehaftete Anwendung vollständig zu testen, müssten wir das Programm auch mit allen möglichen Abfolgen von Eingaben testen.

Ein typisches Beispiel für zustandsabhängig variables Verhalten ist etwa der Versuch, auf nicht öffentliche Inhalte zuzugreifen. Ein anonym Besucher wird aufgefordert, sich anzumelden, während ein angemeldeter Benutzer die entsprechenden Inhalte zu sehen bekommt, zumindest wenn er die dazu nötigen Berechtigungen besitzt.

Es bedarf wohl keiner weiteren Überschlagsrechnungen, um zu zeigen, dass es unmöglich ist, einen umfassenden Test einer Webanwendung vor dem Weltuntergang zu Ende zu bringen, wenn es uns noch nicht einmal annähernd gelingt, in dieser Zeit alle möglichen Eingaben aufzuzählen.

2.4.2 Systemtests

2.4.2.1 Manuelle Tests im Browser

Einer der großen Vorteile von PHP-Anwendungen ist, dass man gerade geschriebenen Code direkt ausführen und das Ergebnis im Browser ansehen kann. Dieses direkte Feedback ist vermutlich einer der Hauptgründe, warum viele Entwickler PHP gegenüber einer übersetzten Sprache wie Java bevorzugen. Was liegt also näher, als die Anwendung insgesamt im Browser zu testen?

Heutzutage generieren PHP-Anwendungen längst nicht mehr nur statisches HTML. Mittels JavaScript kann im Browser der DOM-Baum des HTML nahezu beliebig manipuliert werden. So können jederzeit Seitenelemente geändert, hinzugefügt oder verborgen werden. In Verbindung mit asynchron abgesetzten HTTP-Requests an den Server, auf die als Antwort meist XML- oder JSON-Datenstrukturen zum Browser zurückgesendet werden, lässt sich das ansonsten nötige Neuladen der Seite vermeiden. Dank AJAX erlebt der Benutzer heute im Web teilweise einen Bedienkomfort, wie es bis vor einigen Jahren ausschließlich klassischen GUI-Anwendungen vorbehalten war.

Durch den Einsatz von AJAX wird allerdings auch im Browser die Zustandslosigkeit des HTTP-Protokolls aufgehoben. Das dargestellte HTML-Dokument wird mehr und mehr zu einer eigenen Client-Anwendung, die über AJAX-Anfragen mit dem Server kommuniziert und ihren eigenen, technisch gesehen vom Server völlig unabhängigen Zustand hat. Der Programmierer sieht sich plötzlich mit zusätzlichen Aufgaben konfrontiert, die zuvor in der Webprogrammierung keine große Rolle gespielt haben, beispielsweise mit Locking- Problemen sowie dem Umgang mit Verklemmungen (englisch: Deadlocks) und Timeouts. Es genügt also in den meisten Fällen längst nicht mehr, das durch eine PHP-Anwendung generierte HTML-Dokument statisch zu analysieren, um die syntaktische Korrektheit beziehungsweise, wenn XHTML zum Einsatz kommt, die Wohlgeformtheit zu überprüfen und durch mehr oder minder aufwendiges Parsing sicherzustellen, dass die Seite (nur) die gewünschten Informationen enthält.

Da heute ein zunehmender Teil der Funktionalität einer Anwendung in JavaScript implementiert wird, muss für einen umfassenden Test auch der JavaScript-Code ausgeführt werden. Man könnte dazu eine JavaScript-Engine wie Rhino, SpiderMonkey oder V8 verwenden. Da man aber früher oder später auch die Darstellung der Seite überprüfen möchte, führt letztlich am Test im Browser kein Weg vorbei. Wie wir wissen, hat jede Browser-Familie beziehungsweise jede Browser-Version ihre Eigenheiten nicht nur bezüglich der Darstellung, sondern auch bezüglich der Ausführung von JavaScript-Code. Obwohl sich die Situation in den letzten Jahren deutlich gebessert hat, können die kleinen Browser- Unterschiede den Entwicklern einer Webanwendung das Leben ganz schön schwer machen.

Verhält sich eine Anwendung im Browser-Test nicht wie erwartet, ist es oft nur schwer möglich, die tatsächliche Fehlerquelle zu lokalisieren. Ist das Problem auch in anderen Browsern vorhanden? Ändert sich das Verhalten eventuell mit anderen Sicherheitseinstellungen? Ist die Ursache des Fehlers ungültiges HTML oder ein Fehler im JavaScript- oder PHP-Code? Spielt etwa die Datenbank eine Rolle?

Es ist ein generelles Problem von Systemtests, an denen naturgemäß viele Komponenten beteiligt sind, dass man die Ursache von Fehlern nur schwer einkreisen kann. Ein fehl-

geschlagener Test, egal ob manuell oder automatisiert durchgeführt, zeigt zwar, dass die getestete Software nicht wie erwartet funktioniert, gibt aber keine Auskunft darüber, wo der Fehler liegen könnte.

Im letzten Abschnitt wurde bereits ausgeführt, dass es unmöglich ist, eine Anwendung auch nur annähernd mit allen möglichen Eingaben zu testen. Selbst wenn wir uns darauf beschränken, alle Geschäftsvorfälle oder Geschäftsregeln mit jeweils einer repräsentativen Eingabe zu testen, erreichen wir schnell eine nicht mehr beherrschbare Komplexität. In einem sozialen Netzwerk muss beispielsweise jeder Freund den neuesten Blog-Eintrag eines Benutzers kommentieren dürfen. Kommt Moderation ins Spiel, dann darf ein Kommentar zunächst für niemanden sichtbar sein (außer vielleicht für den Moderator und den Autor des Kommentars), muss aber nach der Freischaltung sichtbar werden. Darf der Autor des Kommentars diesen nun löschen oder ändern? Muss eine Änderung erneut moderiert werden?

Um Geschäftsregeln wie diese zu testen, müsste man sich abwechselnd mit mindestens zwei verschiedenen Benutzerkonten an der Anwendung anmelden. Selbst wenn man sich diese Mühe macht, steht man spätestens vor dem nächsten Release der Anwendung vor der Frage, ob man nun alle Tests wiederholen möchte oder einfach riskiert, dass die Anwendung aufgrund von unerwünschten Nebeneffekten einer Änderung nicht mehr wie erwartet funktioniert.

Allein das Erstellen eines Testplanes, der beschreibt, welche Geschäftsvorfälle beziehungsweise Geschäftsregeln zu testen sind, welche Aktionen dazu notwendig und welche Ergebnisse zu erwarten sind, ist eine langwierige Arbeit. Auf der anderen Seite dient ein Testplan auch dazu, die funktionalen Anforderungen an die Anwendung zu dokumentieren. Der Testplan ist damit die Basis für Akzeptanztests, mit denen der Kunde prüft, ob die Software die an sie gestellten Anforderungen erfüllt.

2.4.2.2 Automatisierte Tests

Da das manuelle Testen einer Anwendung zeitintensiv und nervenaufreibend ist, bietet es sich an, Tests so weit wie möglich zu automatisieren. Durch Automation wird nicht nur die Ausführungsgeschwindigkeit erhöht, sondern auch Flüchtigkeitsfehler werden vermieden. Abgesehen vom Stromverbrauch entstehen keine Mehrkosten, wenn man die Tests wiederholt ausführt. Testautomation ist damit eine wichtige Voraussetzung, um Anwendungen mit verschiedenen Betriebssystemen, Datenbanken, PHP-Versionen und -Konfigurationen testen zu können.

Ein erster Ansatz, Tests im Browser zu automatisieren, sind die sogenannten „Capture and Replay“-Werkzeuge. Im einfachsten Fall zeichnen diese die Mausbewegungen und Eingabe-

ben auf und können diese später wiedergeben. Da gerade Webanwendungen mit verschiedenen Fenstergrößen und Bildschirmauflösungen betrieben werden, sollte die Aufzeichnung nicht auf Bildschirmpositionen abstellen, sondern besser die im Browser ausgelösten Ereignisse auf DOM- beziehungsweise JavaScript-Ebene aufzeichnen.

Die freie Software Selenium ist ein Werkzeug, das in Form einer Firefox-Erweiterung die Aufzeichnung und Ausführung von Browser-Tests ermöglicht. Ein in Java geschriebener Proxy-Server ermöglicht im Zusammenspiel mit PHPUnit auch die Fernsteuerung eines Browsers aus einem PHPUnit-Test. Somit können Browser-Tests auch im Rahmen von kontinuierlicher Integration ausgeführt werden. In den Selenium-Tests kann man mit Zusicherungen auf den DOM-Baum sicherstellen, dass die gerade dargestellte HTML-Seite bestimmten Prüfkriterien genügt. Da der Test direkt im Browser ausgeführt wird, wird der JavaScript-Code in der Seite ausgeführt, somit lassen sich auch AJAX-Anwendungen mit Selenium testen.

In den Zusicherungen kann unter anderem das Vorhandensein oder der Inhalt beliebiger HTML-Elemente geprüft werden. Der Zugriff auf die einzelnen Elemente beziehungsweise DOM-Knoten erfolgt entweder über HTML-IDs, CSS-Selektoren, mittels JavaScript-Code oder mit einem XPath-Ausdruck. Da die Fernsteuerung des Browsers in JavaScript, das in die zu testende Seite injiziert wird, realisiert ist, gibt es beim Testen allerdings einige Einschränkungen, die auf Sicherheitsbeschränkungen zurückzuführen sind. Es ist beispielsweise nicht möglich, einen Datei-Upload zu testen, da dazu das im Browser ausgeführte JavaScript auf das Dateisystem des Rechners zugreifen müsste, um die hochzuladende Datei auszuwählen. Man möchte aus naheliegenden Gründen normalerweise nicht, dass der JavaScript-Code einer Website Zugriff auf das lokale Dateisystem hat. In manchen Browsern lassen sich Einschränkungen in speziellen Betriebsmodi umgehen. Firefox etwa kann man in den Chrome-Modus schalten, in dem deutlich weniger Sicherheitsbeschränkungen für JavaScript-Code gelten.

Systemtests, die eine Anwendung durch die Benutzeroberfläche testen, sind wie alle indirekten Tests eher fragil. Eine scheinbar harmlose Änderung am Layout der Benutzeroberfläche, etwa weil die Werbung eines wichtigen Kunden prominent platziert werden muss, kann schon dafür sorgen, dass Zusicherungen fehlschlagen, obwohl eigentlich nur eine kosmetische Änderung an der Anwendung vorgenommen wurde. Es bedarf einiger Vorsicht und einer umsichtigen Planung sowohl der Seitenstruktur als auch der Zusicherungen, um vor zu häufig zerbrechenden Tests einigermaßen geschützt zu sein.

2.4.2.3 Akzeptanztests

Systemtests sind normalerweise Black-Box-Tests, sie werden also ohne Kenntnis von Interna der zu testenden Software erstellt und durchgeführt. Akzeptanztests sind System-

tests, die aus der Sicht des Endbenutzers beziehungsweise des Kunden erstellt werden und prüfen, ob eine Anwendung die Spezifikation erfüllt und die erwartete Funktionalität hat. Zumindest bezüglich der funktionalen Aspekte sind die Akzeptanztests mit einem Werkzeug wie Selenium einfach automatisierbar. Akzeptanztests sind auch dann sinnvoll, wenn Sie Software nur für die eigene Verwendung entwickeln, da Sie auf diese Weise im Sinne der testgetriebenen Programmierung gezwungen sind, sich von vornherein Gedanken über die Funktionalität aus Endbenutzersicht zu machen, ohne über die konkrete Implementierung nachzudenken.

Die wichtigste Eigenschaft von Akzeptanztests ist, dass diese Abweichungen von der Spezifikation aufzeigen können. White-Box-Tests orientieren sich am vorhandenen Code und man nutzt Metriken für die Codeabdeckung (englisch: Code-Coverage) wie Statement Coverage, Line Coverage und Path Coverage, um fehlende Testfälle zu finden. Wenn eine von der Software geforderte Funktionalität nicht realisiert ist, dann gibt es dafür allerdings keinen zu testenden Code, also kann ein White-Box-Test nicht aufdecken, dass die Software von der Spezifikation abweicht. Ein Black-Box-Test dagegen, der sich von vornherein nur an der geforderten Funktionalität orientiert, kann auch auf fehlenden Code hinweisen.

2.4.2.4 Grenzen von Systemtests

Gewisse nicht-funktionale Aspekte wie Layout-Defekte oder mangelnde Gebrauchstauglichkeit lassen sich nicht automatisiert testen. Zwar ist es denkbar, etwa beim Testen Screenshots zu erstellen und diese automatisiert zu vergleichen. Allerdings kann bis heute keine Maschine das menschliche Auge ersetzen, wenn es darum geht, die Harmonie eines Entwurfes oder die subjektive Wahrnehmbarkeit eines Designelements zu beurteilen. Gerade in Projekten, die über mehrere Monate oder gar Jahre andauern, ist es problematisch, wenn man mit dem Testen erst dann beginnen kann, wenn die Software weitgehend fertiggestellt ist. Wenn man die Tests automatisiert und auf manuelles Testen verzichtet, ist es zwar kein Problem, die Tests beliebig oft zu wiederholen, während die Software wächst. Es wird aber dennoch einige Zeit dauern, bis die ersten Tests durchgeführt werden können. Es wäre wünschenswert, mit dem Testen schon deutlich früher im Entwicklungsprozess beginnen zu können.

Systemtests sind relativ langsam, da sie eine komplexe Test-Umgebung benötigen und alle Komponenten der Anwendung vom Browser über den Webserver bis zur Datenbank beteiligt sind. Es mag kein Problem sein, vor dem Release einer neuen Software-Version einen mehrstündigen Test durchzuführen. Immerhin sind automatisierte Tests deutlich schneller als manuelle Tests. Will man aber den Entwicklern im Rahmen ihrer täglichen Arbeit ein schnelles Feedback darüber geben, ob sie mit einer Änderung unerwünschte

Nebeneffekte eingeführt haben, stößt man schnell an die Grenzen von Systemtests, zumal diese nicht einfach parallel ausgeführt werden können, da sie Abhängigkeiten von einer Datenbank, Caches und möglicherweise Dateien im Dateisystem haben. Kommen sich dabei mehrere Tests in die Quere, führt dies schnell zu Fehlern, die sich nicht reproduzieren lassen. Das ist das genaue Gegenteil von dem, was Systemtests eigentlich leisten sollen.

2.4.3 Unit-Tests

Im Gegensatz zu End-to-End-Tests, die eine gesamte Anwendung testen, testet man mit Unit-Tests nur einen Teil (englisch: Unit) einer Anwendung, meist nur eine einzelne Klasse, manchmal aber auch ein Aggregatobjekt. Unit-Tests sind normalerweise White-Box-Tests, da man sie unter Berücksichtigung des zu testenden Quelltextes schreibt.

Viele Entwickler haben das Ziel, mit Unit-Tests eine hohe Codeabdeckung zu erreichen, also im Rahmen der Tests möglichst jede Zeile des Produktionscodes auszuführen. Mit der PHP-Erweiterung Xdebug können beim Testen Informationen über die Line Coverage gesammelt werden, die von PHPUnit aufbereitet und im HTML-Format visualisiert oder als Text oder XML gespeichert werden können.

Diese zeilenbasierte Codeabdeckung berücksichtigt nicht, dass der getestete Code im Allgemeinen mehrere Ausführungspfade hat. Die bereits vorgestellte NPath-Komplexität ist ein Maß für die Anzahl der Ausführungspfade in einem Codeabschnitt. Sie gibt an, wie viele Tests nötig sind, um eine vollständige Pfadabdeckung zu erreichen, also um nicht nur jede Codezeile, sondern auch jeden Ausführungspfad mindestens einmal zu durchlaufen.

Die zeilenbasierte Codeabdeckung allein ist also kein Nachweis für umfassende Tests, sondern dient im Gegenteil an sich nur dazu, zu zeigen, welche Teile des Codes noch vollständig ungetestet sind. Es gibt derzeit kein Werkzeug für PHP, mit dem sich Pfadabdeckungsstatistiken erstellen lassen. Es gibt allerdings Bestrebungen Xdebug und PHPUnit in diese Richtung weiterzuentwickeln²². Bis auf Weiteres ist man als Entwickler daher gezwungen, sich anhand des zu testenden Codes zu überlegen, welche Ausführungspfade es gibt und wie man diese durch Tests durchlaufen kann. Je komplexer der Produktionscode ist, desto schwieriger wird dies. Durch ein Herunterbrechen des Codes in kleinere Einheiten kann man die Anzahl der notwendigen Tests deutlich reduzieren.

Unit-Tests sollen schnell ablaufen, damit sie vom Entwickler nach Änderungen am Code immer wieder ausgeführt werden und unmittelbar darüber Auskunft geben, ob der Code

²²Vergmann.2011.

noch wie erwartet funktioniert. Arbeitet man testgetrieben, dann werden die Tests sogar vor der zu entwickelnden Funktionalität geschrieben. Das hat den Vorteil, dass man gezwungen wird, über die API anstelle über die Implementierung nachzudenken. Man beginnt die eigentliche Programmierung mit fehlschlagenden Tests, da die getestete Funktionalität noch nicht implementiert ist. Per Definition ist ein Feature fertig programmiert, wenn alle Tests erfolgreich durchlaufen werden.

Testgetriebene Entwicklung (englisch: Test-Driven Development, kurz TDD) hilft Entwicklern dabei, das konkrete Problem zu lösen anstelle zu generalisieren. Insofern kann TDD die Produktivität von Programmierern erheblich steigern, da auf spekulative Features und zukünftig eventuell notwendige Spezialfälle verzichtet wird.

Selbst wenn man nicht testgetrieben entwickelt, sollte man die Unit-Tests immer am selben Tag wie den Produktionscode schreiben. Quellcode mit architekturellen Schwächen ist in den meisten Fällen schwer testbar. Viele Entwickler machen an dieser Stelle den Fehler, auf Unit-Tests zu verzichten, anstelle die Architektur des Produktionscodes so zu verändern, dass man leicht Unit-Tests dafür schreiben kann. Dies ist ein Fehler, der unbedingt vermieden werden sollte, da es auch später ohne Änderungen am Code nicht möglich sein wird, sinnvolle Unit-Tests dafür zu schreiben. Da es aber nun keine Tests gibt, mit denen man bei einer Refaktorisierung des Codes sicherstellen könnte, dass Änderungen keine unerwünschten Nebeneffekte haben, traut sich niemand mehr, den Produktionscode zu überarbeiten. Man hat ein Stück unwartbaren Legacy Code geschaffen.

Schwierigkeiten beim Testen sind also ein deutlicher Hinweis auf schlechten Code. Im Umkehrschluss gilt, dass guter Code leicht testbar ist. Gute Unit-Tests sind damit ein starker Indikator für eine hohe interne Qualität der Software.

2.4.4 Die Softwaretestpyramide

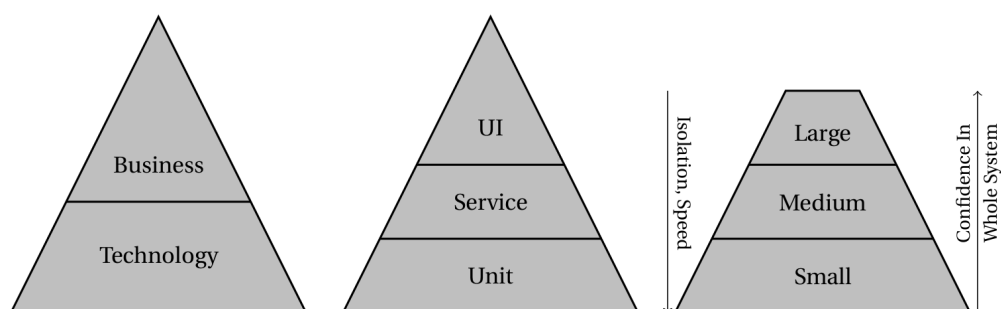


Abbildung 2: Softwaretestpyramide

Die Softwaretestpyramide, die in 2 visualisiert ist, basiert auf Alister Scott²³, Martin Fowler²⁴ und Google²⁵ (von links nach rechts).

2.4.5 Integrationstests

Mit Systemtests wird ein System in seiner Gesamtheit unter Bedingungen getestet, die nah am realen Betrieb liegen. Ein Systemtest soll zeigen, dass sich das System in den verschiedenen Nutzungsfällen so verhält, wie man es laut Spezifikation erwartet. Der Gegenpol dazu sind Unit-Tests, mit denen Code in möglichst kleinen Einheiten isoliert getestet wird. Dabei möchte man sicherstellen, dass die einzelnen Einheiten jeweils für sich alleine wie erwartet funktionieren.

Integrationstests schließen die Lücke zwischen diesen beiden Testkonzepten, indem sie auf die Schnittstellen zwischen Komponenten fokussieren und sicherstellen, dass ihr Zusammenspiel wie erwartet funktioniert. Sie stellen den in der Praxis vielleicht wichtigsten Baustein im Testkonzept dar, denn Systemtests sind zu groß, um eine hinreichend genaue Aussage über die Quelle eines Fehlers zu machen. Unit-Tests dagegen sind zu klein, um eine verwertbare Aussage über das Verhalten der gesamten Anwendung zu machen.

Hinzu kommt, dass Systemtests eine komplexe Test-Umgebung und viele Systemressourcen zur Ausführung benötigen. Sie sind damit zu langsam und zu teuer, um als Fundament einer Teststrategie zu dienen. Es gibt Unternehmen, in denen die Ausführung aller Systemtests mehrere Stunden dauert. Für ein zeitnahes Feedback besonders über diejenigen Fehler, die im Rahmen der Pflege oder Weiterentwicklung gerade neu eingeführt wurden, werden Tests in einem kleineren Wirkungsbereich benötigt. Nur diese helfen den Entwicklern dabei, aufgetretene Fehler unmittelbar den kürzlich vorgenommenen Änderungen zuzuordnen. Dauert es zu lange, bis das Feedback beim Entwickler eintrifft, ist Testen im Sinne agiler Software-Entwicklung nicht mehr möglich.

Integrationstests stellen sicher, dass mehrere Code-Einheiten, deren korrektes Verhalten in Isolation voneinander bereits durch Unit-Tests sichergestellt wurde, wie erwartet zusammenarbeiten. Testet man dabei von einer System- oder Komponentengrenze bis zu einer anderen solchen Grenze, spricht man von Edge-to-Edge-Tests.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Integrationstests stellt man mit End-to-End-Systemtests in Form von Akzeptanztests sicher, dass das System sich so verhält, wie es der Auftraggeber erwartet.

²³Scott (2011), Vgl.

²⁴Fowler (2012), Vgl.

²⁵Jason Arbon und Jeff Carollo (2012), Vgl. Seite 12-14.

Generell gilt, dass jeder Test in einer möglichst minimalen Test-Umgebung ausgeführt werden sollte. Ein Systemtest beispielsweise benötigt normalerweise eine mit sinnvollen Testdaten initialisierte Testdatenbank, hat Abhängigkeiten auf externe Systeme etwa für Bonitätsprüfungen, zur Zahlungsabwicklung oder zum Datentransfer von und in ERP-Systeme wie SAP oder Navision. In der Realität ist es alles andere als einfach, ein solches Testsystem aufzusetzen, zumal regelmäßig aktuelle Daten aus dem Produktionssystem in das Testsystem transferiert werden sollten, da oftmals Tests mit veralteten Daten nicht richtig funktionieren.

Selbst wenn man die Installation eines Testsystems vollständig automatisiert hat, dauert diese relativ lange. Nach der Ausführung eines Tests hat man dann entweder die Möglichkeit, ganz im Sinne von Unit-Tests das Testinventar (und damit das gesamte Testsystem) wieder zu verwerfen und für den nächsten Test neu zu installieren. Selbst wenn man, was durchaus empfehlenswert ist, zu diesem Zweck mit Schnappschüssen (Snapshots) von virtuellen Maschinen arbeitet, so wird die Ausführung der Systemtests insgesamt doch quälend langsam.

Eine andere Möglichkeit ist es, mehrere Tests gegen ein Testinventar auszuführen und die Veränderungen, die jeder Test am System vornimmt, hinzunehmen. Hierbei verzichtet man allerdings auf die Testisolation, was zu Wechselwirkungen zwischen Tests führen kann. Spätestens wenn ein Test fehlschlägt und das System in einem inkonsistenten und unerwarteten Zustand hinterlässt, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass – gewissermaßen als Folgefehler – weitere nachfolgende Tests ebenfalls fehlschlagen. Das macht es nicht gerade einfach, die ursprüngliche Fehlerquelle zu finden.

Man sieht, dass es sehr sinnvoll ist, Tests in einer minimalen Umgebung auszuführen.

2.4.6 GUI-Tests

Unter GUI-Tests versteht man die automatische Überprüfung der Benutzeroberfläche eines Anwenders. Dies sorgt dafür dass alle Schaltflächen in der GUI die gewohnten Funktionen ausführen und nicht mit falschen Endpunkten verknüpft sind.

2.4.7 Regressionstests

In der Entwicklung sollte nach jeder Änderung ein Regressionstest ausgeführt werden. Bei Regressionstest müssen Sie darauf achten, dass 1) Sie immer die gleichen Tests ausführen, wenn Sie einen bestimmten Code-Abschnitt testen und 2) das betreffende Tests die Akzeptanzkriterien der jeweiligen Anforderung abgleicht. Wenn nun später aber Jenkins in den Testprozess integriert würde, könnte man sich diese Arbeit sparen. Mit Jenkins

würde es dann möglich sein, die Regressionstest regelmäßig auszuführen, etwas nach jeder Codeänderung oder einmal pro Nacht (Nightly Build). Falls Probleme auftreten sollten, würde das Team per Email, HipChat oder ähnlichen Kommunikationswege informiert.

2.4.8 Mutation-Testing

Mutation-Testing (auch Mutation Analyse oder Programm Mutation genannt) wird verwendet um neue Software-Tests zu erstellen und die Qualität der vorhandenen Tests zu evaluieren. Die Durchführung von Mutation-Testing ist in der Theorie ziemlich einfach, das vorhandene, zu testende, Programm wird an wenigen Stellen verändert. Jede so neu entstandene Version dieses Programms nennt man Mutant. Jeder erstellte Mutant wird mit den vorhandenen Tests überprüft um zu verifizieren, dass sich die Test-Suite anders verhält und somit die Änderung an dem Programm bemerkt. Tritt dieser Fall ein, spricht man vom "killing the mutant". Die existierende Test-Suite wird anhand der prozentualen entdecken von Mutanten bewertet. Desto höher dieser Wert ist, umso genauer sind die automatisierten Tests in der Überprüfung und Validierung der Software.

Um diesen Richtwert zu erhöhen, können neue Tests erstellt werden die genau so eine auftretende Mutation überprüfen. Mutationen basieren auf wohldefinierten Veränderungen wie zum Beispiel typische Programmierfehler (Verwendung des falschen Operator oder Variablennamen). Zweck dieser ganzen Veränderungen ist es dem Softwareentwickler zu unterstützen, bessere und effektivere Tests zu schreiben. Ein weiterer Aspekt ist die Identifizierung von Schwächen in den verwendeten Testdaten oder selten genutzten Funktionen. Dies sind alles unterstützende Faktoren die dem Softwareentwickler helfen können, um bessere Software-Tests zu entwickeln.

Mutation-Testing gehört zu der Gruppe der White-Box Tests.

2.5 Testgetriebene Entwicklung

Wenn eine neue Funktionalität in einem Programm implementiert bzw. eine Funktionalität angepasst und erweitert werden soll, wie stellt man sicher, dass es im Nachhinein zu keinerlei Problemen kommt? Die Funktionalität per Hand zu testen ist aus mehreren Gründen nicht vorteilhaft.

Die testgetriebene Entwicklung versucht dieses Problem zu beheben. Um dieses Ziel zu erreichen, wird zu Erst mit einem Test die Funktionalität spezifiziert. Nach der Fertigstellung des Tests wird der Programmcode entwickelt. Das führt dazu, dass nun die komplette

Funktionalität überprüft werden kann. Wenn unerwünschte Seiteneffekte entstehen, die auf Grund einer Codeänderung an einer anderen Stelle auftreten, können sie nun durch die Tests herausgefunden und dadurch behoben werden.

2.6 Verhaltensgetriebene Entwicklung

BDD wurde ursprünglich 2003 von Dan North als Weiterentwicklung von TDD bekannt gemacht. 6

Dan North führte dabei syntaktische Konventionen für Unit-Tests ein. Als „Unit-Tests“ bezeichnet man Überprüfungen ob Komponenten wie gewünscht funktionieren. Er entwickelte „JBehave“ als Ersatz für „JUnit“, das alle verwandten Wörter von „Test“ mit dem Wort „Verhalten“ ersetzt hat. „JUnit“ ist ein Framework zum Testen von Java- Programmen welches von „JBehave“ durch veränderte Namenskonventionen abgelöst wurde.

Wieso führte Dan North eine Vokabular Umstellung durch? Edward Sapir und Benjamin Whorf bildeten eine Hypothese die aussagt, dass die Sprache, die wir nutzen, unser Denken beeinflusst 7 . Wollen wir unsere Denkweise verändern, hilft es demzufolge nach, die Sprache zu verändern.

Die Testgetriebene Entwicklung führte dazu, dass viele Entwickler den Entwicklungszyklus nicht optimal verwendet haben. Deswegen kam Dan North auf die Idee, durch Namenskonventionen das Verhalten in den Mittelpunkt zu rücken. Die Basis von BDD sind flexible Methoden, die darauf abzielen, Teams mit wenig Erfahrung in agiler Softwareentwicklung, den Einstieg zugänglicher und effizienter zu gestalten.

3 Analyse

3.1 Ist-Analyse

Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Prozessmodellen die dazu beitragen, eine strukturierte und steuerbare Softwareentwicklung durchzuführen. Je nachdem welches Prozessmodell verwendet wird, sollte man die entsprechenden Testprozesse dem Vorgehensmodell zuordnen. Aus diesem Grund soll hier als erstes der bisherige Entwicklungsprozess der Shopware ERP-Schnittstelle Etos des vorherigen Agentur-Dienstleisters vorgestellt werden. Diese Schnittstelle greift auf die "Import- und Exportschnittstelle Internetshop" der Warenwirtschaft Apollon zu.

Diese Schnittstelle bietet für den Import in das ERP-System, das ECSV-Format an. Zum Export Richtung Shopsystem wird ein CSV-Format offeriert. Beide Austauschformate basieren auf der ASCII Zeichenkodierung.

Auf Basis dieser Spezifikationen hat die vorherige Agentur eine Import- und Export Schnittstelle für das Shopsystem Shopware in der Version 5.0 entwickelt. Dies beinhaltet das Einspielen der vorhandenen Artikel inkl. Lagerbestände, Preise und Kategorien. Des Weiteren ermöglicht dies eine Übermittlung der Kunden und Bestellungen zum Warenwirtschaftssystem. Der Dienstleister ist hierbei nach einem klassischen Wasserfallmodell ohne Testautomatisierung vorgegangen.

Dabei ist die umsetzende Firma in 5 verschiedenen Phasen vorgegangen. In dem ersten Abschnitt, der Anforderungsanalyse und -spezifikation, wurden vom Projektleiter die Erwartungen und notwendigen Eigenschaften einer Schnittstelle vom Kunden aufgenommen, verarbeitet und in ein Pflichtenheft niedergeschrieben.

In der anschließenden Phase, Systemdesign und -spezifikation, wurde von den Softwareentwicklern die zu erstellende Softwarearchitektur konzipiert und niedergeschrieben. Dabei tauschten sich die Entwickler oft mit dem Projektleiter aus um zu überprüfen, dass alle Punkte aus dem Pflichtenheft berücksichtigt sind. Parallel dazu tauschte sich der Projektleiter mit dem Kunden aus um auf mögliche Änderungswünsche zu reagieren.

Im Anschluss dieses Abschnittes wurde die Programmierung von den Softwareentwicklern durchgeführt. Die umgesetzten Module wurden auf Basis des Quellcodes überprüft, sogenannte Reviews. Erste manuelle Tests der Schnittstelle fanden hier bereits statt. Als Resultat dieser Phase entstand die eigentliche Software für den Kunden.

Darauf folgend wurde die Software in einer Testumgebung eingespielt und in Betrieb genommen. Hierbei fanden dann die manuellen Integrations- und Systemtest statt. Dies

bedeutet das der Kunde in dem ERP-System verschiedene Artikel verändert hat, und diese Änderungen den Entwicklern mitteilte. Diese wiederum prüften, ob die Schnittstelle die gewünschten Veränderungen auch umgesetzt hat. Sobald bei dieser Testsituation ein Fehler aufgetreten ist, sind die Entwickler wieder in die vorherige Phase zurück gekehrt und haben diesen Fehler analysiert, behoben und getestet. Anschließend haben die Entwickler die angepasste Version wieder in die Testumgebung eingespielt und die Phase erneut angestoßen.

Erst nach Vollendung der Integrations- und Systemtests, hat die Schnittstelle eine Freigabe vom Kunden für das Live-System erhalten. Das Einspielen der neuen Softwareversion ins Produktiv-System übernahmen die Softwareentwickler. Darauf hin führte der Kunde und die Softwareentwickler weitere System- und Integrationstests durch.

Diese Prozesse werden bei jeglichen Veränderungen des Warenwirtschafts- oder Shopsystems erneut angestoßen.

3.2 Schwachstellen-Analyse

3.2.1 Allgemein

Wir haben einen kurzen Entwicklungszyklus dem ein Planungszyklus voran geht. Nach der Entwicklung folgt eine zwei stufige Testphase. Dies sollte eigentlich ausreichend sein um eine annähernd fehlerfreie Software entwickeln zu können, oder? Bevor man diese Frage beantwortet, zeigen ein paar typische Szenen, was während der manuellen Testphasen im vorherigen Entwicklungsprozess passiert ist.

3.2.2 Schlechte Ressourcennutzung

Die meisten Testfälle von der ERP-Schnittstelle wie im Kapitel Y!!§!§!§!§!§ geschildert, benötigen mindestens 1 Softwareentwickler und einen Sachbearbeiter auf Seiten des Kunden. Des Weiteren ist manuelles Testen eine sehr aufwendige, monotone und fehlerbehaftete Tätigkeit. Zum Beispiel: Um Features von der ERP-Schnittstelle zu testen, muss jemand in der Warenwirtschaft Änderungen vornehmen, diese übermitteln und dann anschließend prüfen ob diese auch korrekt übermittelt sind. Beim testen des Kunden- und Bestellexportes muss der Softwareentwickler einen Kunden anlegen, Artikel in den Warenkorb legen, Rechnungs- und Lieferadresse auswählen und schlussendlich die Bestellung mit einer Zahlungsart abschließen. Anschließend müssen die Importierten Daten in der Warenwirtschaft

3.2.3 Ineffizient

Bevor der Integrationstest starten kann, muss die Testumgebung vom Online-Shop und Warenwirtschaftssystem aktualisiert und mit dem jeweils letzten Stand der Software bestückt werden. Dies erfordert auf Dienstleister, wie auch Kundenseite einen größeren Vorbereitungsaufwand um mit dem eigentlichen testen anfangen zu können. Des Weiteren wird die Vorbereitung durch das Tagesgeschäft des Dienstleisters und Kunden beeinträchtigt. Z.B. kommt ein Notfall-Support für den Dienstleister rein weil der Kunde keine Bestellungen mehr ins ERP-System einspielen kann, oder beim Kunden funktionieren andere Elementare Anwendungen nicht, die vom Ansprechpartner des Kunden gelöst werden müssen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom sogenannten „Sägeblatt-Effekt“

3.2.4 Sehr fehleranfällig

Durch die große Anzahl von einzelnen manuellen Testschritten ist der Prozess sehr anfällig. Es genügt das nur ein einzelner Abschnitt falsch oder nicht vollständig ausgeführt wird, dass der ganze Testprozess fehl schlägt und dieser somit von vorne starten muss. Des Weiteren erfordert diese Art von Testprozess eine exakte und perfekte Zusammenarbeit zwischen dem Dienstleister und dem Kunden. Es ist ausgeschlossen, dass die beteiligten Personen über einen so langen Zeitraum fehlerfrei arbeiten können.

3.2.5 Gesunkenes Vertrauen

Wegen mangelhafter Testabdeckung und fehlenden Integrationstests tauchten immer wieder nach der Veröffentlichung einer neuen Schnittstellenversion unangenehme Überraschungen auf. Z.B. fanden beim Import in das Shop-System nur noch Artikel ohne Varianten Berücksichtigung. Nach dem darauffolgenden Release und Fix des beschriebenen Problems, ließen sich zwar Artikel mit Varianten importieren, aber Artikel ohne Varianten fehlten gänzlich.

Die Anhaltenden Probleme das z.B. Funktion A defekt ist und die Reparatur dadurch Funktion B beeinträchtigt hat das Vertrauen des Kunden in die ERP-Schnittstelle nachhaltig beeinflusst und jedes Release für den Kunden zu einer Zerreißprobe werden lassen.

3.2.6 Review

Bei Reviews sollten Kollegen konkrete Rückmeldungen geben und fehlerhafte Stellen im Quellcode aufdecken, die gegen die definierten Richtlinien verstoßen. Dies sollte verhindern, dass unnötigen Fehler in den Quellcode der Software einfließen. Die Umsetzung

sogenannten Code-Reviews fand bei den Entwicklern nur halbherzig statt. Die Entwickler empfanden diese als eine Art lästige Pflicht. Zusätzlich hatte der vorherige Dienstleister mit einer starken Entwickler Fluktuation zu kämpfen.

3.2.7 Keine Regressionstests

Bereits umgesetzte und verwendete Funktionen veränderten plötzlich das Verhalten. Sogenannte Regressionen wurden durch keine Test, weder automatisiert noch manuell, festgehalten. Dies hatte zur Folge, dass jede Änderung an der Software beliebige Seiteneffekte aufweisen konnte. Eine Zuverlässige Entwicklung von neuen Funktionen war nur schwer möglich.

3.2.8 Schlussfolgerung

Die Fehlerquellen wie menschliches Versagen, Schwankungen und mangelnde Konsistenz lassen keinen Zweifel daran aufkommen, dass manuelle Prozesse nur eine geringe Chance haben, die schnellen und reproduzierbaren Ergebnisse zu liefern. Ganz zu schweigen davon, dass bei einer großen Code-Basis das manuelle Testen in aller Regel den für diese Iteration bemessenen Zeitrahmen bei weitem sprengt.

Außerdem werden Integrationstests sehr viel seltener ausgeführt als eigentlich empfehlenswert. Somit steigt das Risiko, dass Fehler erst ziemlich auftauchen, enorm.

3.3 SWOT-Analyse

3.3.1 Beschreibung

Die SWOT-Analyse (engl. Akronym für Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen) und Threats (Bedrohungen)) ist ein häufiger Bestandteil eines Business Plans. Sie ist zusätzlich ein Instrument der strategischen Planung. Sie dient der Positionsbestimmung und der Strategieentwicklung von Unternehmen und anderen Organisationen.²⁶

Chancen sind Möglichkeiten, durch veränderte oder neue Produkte und Dienstleistungen neue Kunden zu gewinnen oder Stammkunden enger an sich zu binden. Diese Möglichkeiten können durch ggf. bessere oder innovativer Angebote von Wettbewerbern oder durch wirtschaftspolitische und technologische Veränderungen gefährdet sein (Risiken).

²⁶Heribert Meffert (2012), Vgl. Seite 240.

Sollten die entstandenen Risiken aus Sicht der Entscheidungsträger zu groß sein, sind geeignete Gegenmaßnahmen einzuleiten. Die Auswahl der zu treffenden Maßnahmen richtet sich nach der Evaluierung und Einschätzung der eigenen Stärken und Schwächen durch die Verantwortlichen. Diese werden im Vergleich zum Wettbewerb erhoben.

Um ein optimales Konzept für den Kunden zu entwickeln, soll eine SWOT-Analyse durchgeführt und ausgewertet werden. Als Wettbewerber ist die vorherige Agentur des Kunden anzusehen.

3.3.2 Durchführung

Anhand der vorliegenden Ist-Analyse wird eine SWOT-Analyse durchgeführt um eine detailliertere Entscheidungsgrundlage zu ermöglichen. In dieser Analyse wird die Thematik der Automatisierung von Tests beleuchtet im Vergleich zu dem vorherigen Dienstleister um eine Entscheidungsgrundlage für das zu erstellende Soll-Konzept zu schaffen.

Zuerst wurden die Stärken und Schwächen der Testautomatisierung analysiert und festgelegt. Anschließend wurden die Chancen und Risiken des Prozesses erhoben.

3.3.3 Stärken

- **Verlässlichkeit**

Einmal erstellte Tests werden bei jeder Änderung wieder durchgeführt und Garantieren das die Software sich so verhält wie es der Test es überprüft. Ist dies nicht der Fall wird der betroffene Entwickler darüber informiert. Dadurch, dass die Tests immer ausgeführt werden, erhält der Entwickler deutlich früher eine Rückmeldung ob seine Veränderung des Quellcodes ggf. Seiteneffekte aufweist.

- **Vollständigkeit (Testabdeckung)**

Wenn der Quellcode zu 100 % mit automatischen Tests abgedeckt ist, ermöglicht dies eine Neustrukturierung, sogenanntes Refactoring, ohne das Funktionen vom Entwickler unbemerkt aus der Software verschwinden oder nicht wie gewohnt weiter funktionieren. Durch eine Vollständige Testabdeckung wird das Vertrauen in die Software beim Endanwender deutlich gesteigert da eine einmal bekannte Funktionalität des Programms sich nicht unbewusst verändert.

- **Wiederholbarkeit**

Durch das automatisiertes Testing können nach jeder Änderung die vorher definierten Tests angestoßen werden. Durch diesen Automatismus sind keine Personal

Ressourcen zur Überprüfung der Software notwendig. Zusätzlich sinkt die Fehleranfälligkeit der Tests enorm, da die erstellten Tests - bei jeder Ausführung immer wieder das genau gleiche Testmuster anwenden. Dies ist bei manuellen Tests nicht immer gegeben.

- **Reproduzierbarkeit**

Einmal definierte Testmuster lassen sich immer wieder ausführen (siehe Wiederholbarkeit). Diese Eigenschaft ermöglicht es, dem Programmierer aufgetretene Fehler, zu reproduzieren. Hier ist kein investigativer Rechercheaufwand des Entwicklers beim Tester notwendig, da er durch den definierten Test, den exakten Systemkontext kennt.

- **Reporting**

Eine zusätzliche Stärke der automatisierten Tests ist die Reportingmöglichkeit. Bevor Änderungen in den Hauptzweig der Versionsverwaltung dürfen, können diese durch automatisierten Tests auf Funktion und Qualität überprüft werden. Bei einem negativen Testergebnis ist die Übernahme der Anpassungen nicht möglich und der betroffene Entwickler erhält detaillierte Informationen zu den jeweils fehlgeschlagenen Tests.

- **Auswertung**

Durch die ständige Ausführung der Tests können auch Statistiken erstellt werden. Wie hoch ist die Code-Coverage (Abdeckung des Quellcodes durch automatisierte Tests) und welche Qualitätsmetriken haben sich über die Zeit wie verändert. Dies sind für das Projektmanagement objektive Kennzahlen, die dem Kunden interessieren und eine Auskunft über den Status und Qualität der zu entwickelnden Software gibt.

3.3.4 Schwächen

- **Hohe Einstiegshürde**

Aller Anfang ist schwer. Der initiale Aufwand um Automatisierte Tests, sogenannte Unit-Tests zu schreiben, ist sehr hoch. HIER MICH SELBST ZITIEREN :D. Die Aufwände für die Einarbeitung amortisieren sich erst Mittel- und Langfristig.

- **Hoher Planungsaufwand**

Um bei einem initialen neuem Software-Projekt automatisierte Tests zu verwenden ist ein hoher Planungsaufwand notwendig. Wo sollen die Tests ausgeführt werden?

Benötigen wir eine Systemlandschaft für die automatisierten Tests? Können wir in diesem Projekt überhaupt alles Testen?

- **Aufdecken unerwarteter Fehler**

Manuelle Tests decken deutlich mehr Fehler als das Automated Testing auf, weil Tester immer auch intuitiv agieren und von den geplanten Wegen durch die Anwendung abweichen können. Dazu kommt: Je erfahrener der Tester, desto besser ist meist auch seine persönliche „Testheuristik“ und damit die Erfolgsquote beim Auffinden von Fehlern.

Durch die festgelegten Testszenarien ist kein destruktives Testen, wie es Menschliche Tester können, möglich. Dies bedeutet das Fehler die nicht durch Tests abgedeckt sind, beim Entwickler auch nicht erscheinen. Zum Beispiel wäre ein Warenkorbprozess innerhalb eines Shopsystems der zu 100 % mit Tests abgedeckt und somit von den Metriken her ideal umgesetzt ist aber Wertlos wenn die Tests immer nur mit 19 % Mehrwertsteuer durchgeführt werden. Sobald in dem Shop Bücher mit 7 % zum Verkauf stehen, besteht hier ein großes Fehlerpotenzial, dass die Artikel ggf. mit den falschen Mehrwertsteuern berechnet oder Mischwarenkörbe (Artikel mit 7 % und 19 % MwSt im Warenkorb) vollständig falsch kalkuliert sind.

3.3.5 Chancen

- **gesteigertes Vertrauen in die Software bei den Kunden**

Durch die Zuverlässigkeit der einzelnen Funktionen innerhalb der Software wird das Vertrauen vom Kunden in ihr gestärkt. Eventuelle Ängste, dass nach jedem Update alles anders funktioniert als vorher, können damit entkräftet werden.

- **Bessere Ressourcennutzung**

Die automatisierten Tests ermöglichen dem Entwicklungsteam die freigewordenen Ressourcen, die vorher bei den manuellen Tests gebunden waren, für die Pflege und Weiterentwicklung der Software zu verwenden. Dies ermöglicht dem Kunden, dass vorhandenen Budget effektiver einzusetzen.

3.3.6 Gefahren

- **Skepsis der Kunden bezüglich der Wirtschaftlichkeit**

Durch den am Anfang spürbaren Mehraufwand für Automatisierte Tests, besteht die Möglichkeit dass der Kunde an der Wirtschaftlichkeit dieses Prozesses zweifelt. Der messbare Erfolg ist erst mittel- und langfristig beweisbar.

- **Integration Testprozess**

Eine halbherzige Integration des Automatisierungs-Prozesses von den Software-Entwicklern stellt eine Gefahr da. Ohne Korrektur dessen, kann dem Kunden dann auch Mittel- und Langfristig kein Vorteil der Testautomatisierung bescheinigt werden und er verliert das Vertrauen in die Software und dem beauftragtem Unternehmen.

- **Mangelnde Testpflege**

Wenn die vorhandenen Unit-Tests nicht gewartet werden, verlieren sie sehr schnell an Effektivität. Nur durch eine vollständige Abdeckung des Quellcodes bleibt die Effektivität des automatisierten Testings erhalten.

3.3.7 Auswertung

Durch die hohe Anzahl der Stärken von Testautomatisierung (Verlässlichkeit, Vollständigkeit (Testabdeckung), Wiederholbarkeit, Reproduzierbarkeit, Reporting und Auswertung) ist es ein leichtes die gegebenen Chancen gesteigertes Vertrauen bei den Anwendern der Software und eine bessere Ressourcennutzung zu realisieren.

Des Weiteren lässt sich die Gefahr der Skepsis durch den Auftraggeber einfach entkräften, da die freiwerdenden Ressourcen dem Kunden direkt wieder zur Verfügung stehen. Durch die Möglichkeit des Reportings und der automatischen Auswertung der Testergebnisse, wird das Vertrauen des Kunden weiter gestärkt. Der Auftraggeber bekommt die kontinuierliche Verbesserung der Software und dem dazugehörigen Testen dessen regelmäßig und ohne Aufforderung übermittelt. Eine halbherzige Integration des Prozesses und der Testabdeckung wird durch das Reporting frühzeitig erkennbar. Dies ermöglicht ein rechtzeitiges Gegensteuern vom Kunden und dem Dienstleister.

Zusätzlich besteht die Chance, die frei werdenden Ressourcen für destruktives Testing einzusetzen. Somit sind auch vom Software-Entwickler nicht bedachte Testszenarien überprüft und kontrollierbar. Ggf. auftretende Probleme können rechtzeitig behoben werden und fallen dem Endanwender nicht unangenehm auf.

Die gravierendste Schwäche der Testautomatisierung ist, für ungeübte Software-Entwickler, die Einstiegshürde. Hier müssen Freiräume für eventuelle Fehlschläge den Entwicklern eingeräumt und Mittel für notwendige Fortbildungen gestattet werden um mögliche Schäden abzuwenden. Außerdem benötigen die Entwickler anfänglich Konzeptionelle Unterstützung von qualifizierten Experten um den Planungsaufwand nicht ins Unermessliche steigen zu lassen.

3.4 Soll-Konzept

3.4.1 Automatisierter Testprozess

Durch die Schwachstellen-Analyse können wir feststellen, dass es vom entscheidender Wichtigkeit ist, einen automatisierten Testprozess in dem Entwicklungsprozess von der Etos Schnittstelle einzubinden. Die dadurch eingebrachten Vorteile sind erheblich. Fast alle zuvor erwähnten Probleme können durch die Automatisierung des Testprozesses einfach gelöst werden. Automatisiertes Testen bringt mehr Flexibilität und Reproduzierbarkeit in den Entwicklungsprozess, ermöglicht Regressionstest in jeder Iteration und erleichtert Testern maßgeblich die Arbeit. Somit ist eine Steigerung der Effizienz und der Qualität in der Softwareentwicklung gewährleistet. Zusätzlich werden Mitarbeiterressourcen ertragreicher eingesetzt

Basierend auf der im vorherigen Kapitel erstellten Schwachstellen- und SWOT-Analyse ist eine Umsetzungsstrategie entwickelt worden, die nachhaltig die Probleme des Kunden löst.

3.4.2 Umsetzungsstrategien

Die Strategie zur Umsetzung der benötigten Testroutinen sollen anhand der geschilderten Testpyramide umgesetzt werden. Dabei finden die Testarten, die im Kapitel 2.4 beschrieben sind, Anwendung. Zielsetzung ist, dass es mindestens einen Test, egal auf welcher Ebene in der Pyramide, existiert der die entwickelte Erweiterung der Software überprüft. Damit ist eine Gewährleistung über die korrekte Funktionsweise der Software möglich und es treten keine unerwarteten Seiteneffekte auf.

Das Fundament der Pyramide bilden die Unit-Tests. Sie sind die Grundlage jeder soliden Vorgehensweise zur Testautomatisierung. Die Ausführung der jeweiligen Tests benötigen in der Regel nur ein paar Millisekunden und verwenden daher extrem wenig Computer-Ressourcen. Durch diese Art von Tests wird gewährleistet, dass einzelne Module Ihre getestete Funktionalität immer beibehält, ansonsten schlägt der Test fehl. Zusätzlicher Vorteil dieser Testart ist die mögliche parallele Ausführung der Tests, da diese isoliert von den anderen Komponenten überprüfbar sind.

Dies alleine garantiert noch keine Fehlerfreie Software. Die Komponenten können einzelnen einwandfrei funktionieren aber durch die Kompositionsart der jeweiligen Module nicht die gewünschten Eigenschaften aufweisen. Z.B. können die einzelnen Komponenten einwandfrei funktionieren (Schiebeschloss und Schiebetür). Wenn man diese aber falsch miteinander verbindet, ist es trotz verriegeltem Schloss möglich die Tür zu öffnen. Um so

ein Verhalten in der Softwareentwicklung zu verhindern sind die Integrationstests verantwortlich.

Die Integration-Tests-Ebene der Testautomatisierungspyramide ist dafür verantwortlich, dass das Systemverhalten zu prüfen ist, unabhängig von der Benutzeroberfläche. Wenn Testfälle auf dieser Ebene erledigt werden können, sollte dies nicht in der Oberfläche der Anwendung durchgeführt werden, weil GUI-Test aufwändig zu schreiben, aufwendig durchzuführen und labil sind.

Durch alle Tests der Testpyramide soll der Quellcode eine möglichst 100 % Code Coverage erhalten um ungewollte Veränderungen an der Software direkt zu bemerken.

Zusätzlich zu den automatisierten Softwaretests, soll der entwickelte Quelltext auch an den in Kapitel 2.3 vorgestellten Metriken gemessen werden. Ziel ist es hiermit eine Art Frühwarnsystem zu haben um einen negativen Trend rechtzeitig entgegenwirken zu können.

Trotz aller automatisierten Tests besteht die Möglichkeit, dass es Fehler in die veröffentlichte Software schaffen. Diese Fehler können z.B. aufgrund der Pflege, Erweiterung und Wartung der Software entstehen. Diese Fehler werden dann in Testfällen spezifiziert und mit einem Soll-Ergebnis versehen schriftlich festgehalten. Das Soll- wird mit dem Ist-Ergebnis eines Testfalles automatisch überprüft. Ein direkter Bezug auf die Ergebnisse eines vorherigen Testdurchlaufs findet nicht statt.

Ergänzend zu alle den geschriebenen Tests soll ein Mutation Testing Szenario Verwendung finden. Wie in Kapitel 2.4.8 beschrieben, dient dies zur Überprüfung der erstellten Tests ob diese auch wirklich relevante Funktionen der Software abdecken.

Um all diese Testarten auch automatisch auszuführen, zu validieren und bei erfolgreichen Ausführung aller Test diese zu verteilen, ist in Anlehnung an Simon Wiest folgende Ziele für die Kontinuierliche Integration festgelegt worden.

1. **Gemeinsame Quellcodebasis**

Der Quellcode des Projektes wird an einem Ort verwaltet, typischerweise in einem Versionskontrollsystem.

2. **Automatisierter Build**

Das Programm muss vollautomatisch aus seinen einzelnen Modulen übersetzt und zusammengebaut werden können.

3. **Selbsttestender Build**

Erstellte Programme werden während des Buildprozesses automatisch auf dessen Funktionalität geprüft. Alle Tests, die in Kapitel XXX beschrieben sind, sind in dem Prozess berücksichtigt.

4. **Builds (und Tests) nach jeder Änderung**

Nach jeder Änderung (commit) wird das Produkt vollautomatisch neu gebaut und getestet. Durch kleine Änderungsschritte lassen sich eventuell auftretende Fehler schnell beheben.

5. **Schnelle Build Zyklen**

Zwischen der Integration eines Entwicklers und der Rückmeldung durch das Kontinuierliche Integrationssystem sollte nicht viel Zeit verstreichen, idealerweise liegt diese Dauer im Minutenbereich.

6. **Tests in gespiegelter Produktionsumgebung**

Die Tests sollten in einer möglichst realitätsnahen Umgebung stattfinden.

7. **Einfacher Zugriff auf Build-Ergebnisse**

Der letzte Stand einer Entwicklung sollte für alle Produkt- und Projektverantwortlichen einfach zugänglich sein.

8. **Automatisierte Berichte**

Die Resultate aus dem Builds müssen so aufbereitet sein, dass ein Entwickler damit direkt arbeiten kann. Es Logdateien mit mehreren hundert oder gar tausenden Einträgen ist nicht das geeignete Format dafür.

9. **Automatisierte Verteilung**

Ein Kontinuierliches Integrationssystem sollte nicht nur den Softwareerstellungsprozess automatisieren, sondern auch die Verteilung zu den jeweiligen Anwendern bzw. das Ausbringen auf Test-, Demonstrations- und Produktionsservern.

Dieses entwickelte Soll-Konzept geht speziell auf die in der Vergangenheit vorhandenen Probleme ein. Der Kunde beklagte sich über die Unzuverlässigkeit der Schnittstelle und die andauernden Veränderungen der eigentlichen Funktionalität. Diese Missstände, werden hervorragend durch die Stärken der Testautomatisierung wie z.B. Verlässlichkeit, Vollständigkeit und Reporting entkräftet um wieder ein gesteigertes Vertrauen des Kunden in eine neue Schnittstelle zu erhalten.

Die Verringerung von gegebenenfalls auftretender Skepsis des Kunden über die Wirtschaftlichkeit der Testautomatisierung ist durch die nun freiwerdenden Ressourcen möglich. Zusätzlich werden die Gefahren der halbherzigen Integration und mangelnde Testpflege durch die automatisierte Überprüfung der Quellcode Metriken und der Verifizierung der Test Suite durch Mutation Testing entgegen gewirkt.

4 Umsetzung von Testautomatisierung

4.1 Strukturelle Voraussetzungen

Die Neuentwicklung soll die beschriebenen und etablierten Best-Practices berücksichtigen und umsetzen. Eine Konsequente Einhaltung zum Beispiel des Single Responsibility Principles führt zu einer einfachen und intuitiven Klassenstruktur da die jeweils erstellten Klassen einen eindeutigen Namen besitzen und nur eine Aufgabe erfüllen. Eine exemplarische Verzeichnisstruktur und sogleich auch Namespacestruktur könnte somit wie folgt aussehen:

- Commands
- Config
- Exporter
- Importer
- Mapper
- Reader
- Writer

Im Namespace Writer befinden sich alle Klassen die gewisse Datenströme in einem beliebigen Format abspeichern. Für jedes Datenformat gibt es jeweils eine eigenständige Klasse um dem Single Responsibility Principles gerecht zu werden. Zusätzlich müssen die ggf. vorhandenen Abhängigkeiten über einem geeigneten Verfahren auflösbar sein. Hier bietet sich an Abhängigkeiten via Dependency Injection zu benennen und diese via dem constructor der jeweiligen Klasse zu übergeben, sogenannten constructor injection.

4.2 Auswahl der Testwerkzeuge

4.2.1 PHPUnit

Die Auswahl für die Durchführung und Erstellung der benötigten Unit- und Integrationstest viel auf das Framework PHPUnit. Dies ist in der PHP-Entwicklung der defakto Standard für diese Aufgaben geworden und wird hauptsächlich von Sebastian Bergmann entwickelt. PHPUnit wird ab der Version 3.0 unter der Berkeley Software Distribution (BSD)-Lizenz veröffentlicht und kann problemlos als PHP-Archive (phar) Paket heruntergeladen und installiert werden.

PHPUnit basiert auf dem xUnit-Konzept, welches auch Anwendung in anderen Programmiersprachen findet (z.B. JUnit für Java).

4.2.2 Behat/Mink

- GUI Testing - Gute Abstraktion der zu Testenden Szenarion

4.2.3 Humbug

Humbug ist das einzige Mutationtestingframework für die Anwendung in PHP-Projekten. Glücklicherweise unterstützt es Vorzugsweise PHPUnit und baut auf dessen Testergebnisse auf.

4.3 Technische Umsetzung

4.3.1 Softwarearchitektur

Im Gegensatz zu der vorherigen Umsetzung, die den Prinzipien der prozeduralen Programmierung folgte, fand bei der Neuentwicklung der Schnittstelle die beschriebenen und etablierten Best-Practices Anwendung. Die daraus resultierende Softwarearchitektur gliederte sich wie folgt:

- Commands
- Config
- Exporter
- Importer
- Mapper
- Reader
- Resource
- Utils
- Writer

In den verschiedenen Verzeichnissen befinden sich einzelne Klassen die für jeweils eine bestimmte Aufgabe konzipiert sind. Im Bereich Commands existiert zum Beispiel eine EtosExportOrders und eine EtosImportArticles Klasse. Die erste Klasse führt den Befehl aus, das die Bestellungen Exportiert und für die Warenwirtschaft bereitgestellt werden. Diese Klasse erfüllt ansonsten keine weitere Aufgabe außer der beschrieben.

```

1 Humbug running test suite to generate logs and code coverage data...
2
3 19 [=====] 18 secs
4
5 Humbug has completed the initial test run successfully.
6 Tests: 19 Line Coverage: 71.16%
7
8 Humbug is analysing source files...
9
10 Mutation Testing is commencing on 22 files...
11 (.: killed, M: escaped, S: uncovered, E: fatal error, T: timed out)
12
13 SSSSSSSSSS..S.....S.....MMMMMMMM.....M..... | 60 (15/22)
14 .M.SSSSSSSS..M.MMMMMMMM.MSS...MMMMMMMMMMMM..MM.M.MMMMMMMM..M | 120 (15/22)
15 MMMSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSS | 180 (15/22)
16 SSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSS | 240 (15/22)
17 SSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSS | 300 (15/22)
18 SSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSS | 360 (18/22)
19 TM.M..M
20
21 367 mutations were generated:
22 60 mutants were killed
23 229 mutants were not covered by tests
24 77 covered mutants were not detected
25 0 fatal errors were encountered
26 1 time outs were encountered
27
28 Metrics:
29 Mutation Score Indicator (MSI): 17%
30 Mutation Code Coverage: 38%
31 Covered Code MSI: 44%

```

5 Fazit

Automatische Durchführung der Tests via continuous integration ermöglicht weitere Einsparpotenziale etc...

Literaturverzeichnis

Artikel

- [1] Arie van Deursen, Magiel Bruntink und, „Predicting Class Testability using Object-Oriented Metrics“ (2004).
- [2] Bevan, Nigel, „Quality in use: Meeting user needs for quality“ (1999).
- [9] Janzen, David S., „Software Architecture Improvement through Test-Driven Development“ (2006).
- [12] K. Mustafa, R. A. Khan und, „Metric Based Testability Model for Object Oriented Design (MTMOOD)“ (2009).
- [13] Lieberherr, K. J., „Formulations and Benefits of the Law of Demeter“ (1989).
- [17] McCabe, Thomas J., „A Complexity Measure“ (1976).
- [19] Nejme, Brian A., „NPATH: A Measure of Execution Path Complexity and its Applications“ (1988).

Bücher

- [4] Deborah Caswell, Robert Grady und: Software Metrics: Establishing a company-wide program, Prentice Hall, New Jersey 1987, ISBN: 978-0138218447.
- [5] Fowler, Martin: Refactoring. Wie Sie das Design vorhandener Software verbessern, Addison-Wesley, Boston 2000, ISBN: 3-8273-1630-8.
- [7] Heribert Meffert, Christoph Burmann und Manfred Kirchgeorg: Marketing, 11. Aufl., Gabler Verlag, Wiesbaden 2012, ISBN: 978-3-8349-2760-6.
- [10] Jason Arbon und Jeff Carollo, James A. Whittaker und: How Google Tests Software, Addison-Wesley, New Jersey 2012, ISBN: 978-0-321-80302-3.
- [14] Liggesmeyer, Peter: Software-Qualität: Testen, Analysieren und Verifizieren von Software, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2009, ISBN: 978-3827411181.
- [15] Martin, Robert C.: Agile Software Development. Principles, Patterns, and Practices, Prentice Hall International, New Jersey 2002, ISBN: 978-0-135-97444-5.
- [16] Martin, Robert C.: Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship, Prentice Hall International, New Jersey 2008, ISBN: 978-0-132-35088-4.
- [18] Nat Pryce, Steve Freeman und: Growing Object-Oriented Software, Guided by Tests, Addison-Wesley, Boston 2009, ISBN: 978-0-321-50362-6.

-
- [20] Radu Marinescu, Michele Lanza und: Object-Oriented Metrics in Practice: Using Software Metrics to Characterize, Evaluate, and Improve the Design of Object-Oriented Systems, Springer, Berlin 2009, ISBN: 978-3-540-24429-5.
- [22] Stefan Pribsch, Sebastian Bergmann und: Softwarequalität in PHP-Projekten, 2. Aufl., Carl Hanser Verlag, München 2013, ISBN: 3-8273-1630-8.

Webseiten

- [3] Cunningham, Ward, The WyCash Portfolio Management System, URL: <http://c2.com/doc/oopsla92.html>, Erscheinungsjahr: 1992, Aufruf am: 29.11.2016, 23:22.
- [6] Fowler, Martin, Test Pyramid, URL: <http://martinfowler.com/bliki/TestPyramid.html>, Erscheinungsjahr: 2012, Aufruf am: 29.11.2016, 21:32.
- [11] Jeffries, Ron, Quality vs Speed? I Don't Think So!, URL: <http://ronjeffries.com/xprog/articles/quality/>, Erscheinungsjahr: 2010, Aufruf am: 4.12.2016, 14:06.
- [21] Scott, Alister, Yet another software testing pyramid, URL: <http://watirmelon.com/2011/06/10/yet-another-software-testing-pyramid/>, Erscheinungsjahr: 2011, Aufruf am: 5.12.2016, 21:16.

Sonstige

- [8] ISO/IEC 9126-1: Software Engineering – Product quality – Part 1: Quality model, 2008-07-29, Standard, Geneva, CH: International Organization for Standardization, Juli 2008.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt worden ist, insbesondere dass ich alle Stellen, die wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen sind, durch Zitate als solche gekennzeichnet habe. Ich versichere auch, dass die von mir eingereichte schriftliche Version mit der digitalen Version übereinstimmt. Weiterhin erkläre ich, dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde/Prüfungsstelle vorgelegen hat. Ich erkläre mich damit **einverstanden/nicht** einverstanden, dass die Arbeit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die Digitalversion dieser Arbeit zwecks Plagiatsprüfung auf die Server externer Anbieter hoch geladen werden darf. Die Plagiatsprüfung stellt keine Zurverfügungstellung für die Öffentlichkeit dar.

(Ort, Datum)

(Eigenhändige Unterschrift)