



Hochschule für angewandte Wissenschaften Augsburg

Fakultät für Informatik

Bachelorarbeit

Python Test-Tools für Test-driven development im Vergleich

zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science

Thema: Python Test-Tools für Test-driven development im Vergleich

Autor: Maximilian Konter
maximilian.konter@hs-augsburg.de
MatNr. 951004

Version vom: 20. Mai 2019

1. Betreuer: Dipl.-Inf. (FH), Dipl.-De Erich Seifert, MA
2. BetreuerIn: Prof. Dr.-Ing. Alexandra Teynor

Diese Arbeit befasst sich mit den aktuellen Test-Tools der Programmiersprache Python im Bezug auf Test-driven development.

Dabei werden verschiedene Test-Tools anhand ihrer Anwendbarkeit, Effizienz, Komplexität und Erweiterbarkeit beschrieben um mit Hilfe eines Vergleichs derer einen Leitfaden für das Feature reichste Test-Tool zu bieten. Dazu werden die folgenden Forschungsfragen gestellt: Welches Python Test-Tool bietet im Bezug auf Test-driven development die meisten und besten Features? Sowie: Ist Test-driven development als Methode der Software Entwicklung anwendbar?

TODO: schreiben wenn die Einleitung und Fazit fertig sind.

Inhaltsverzeichnis

Listingverzeichnis	6
Fußnotenverzeichnis	7
Glossar	8
Abkürzungsverzeichnis	10
1 Einleitung	11
1.1 Die Programmiersprache Python	11
1.2 Test-driven development	12
2 Python Test-Tools	14
2.1 Tools der Standard Bibliothek	16
2.1.1 unittest	16
2.1.2 doctest	18
2.2 Tools abseits der Standard Bibliothek	21
2.2.1 pytest	22
2.2.2 Mocking Tools	25
2.2.2.1 stubble	25
2.2.2.2 mocktest	27
2.2.2.3 flexmock	29
2.2.2.4 doublex	31
2.2.3 Fuzz-testing Tools	35
2.2.3.1 hypothesis	36
2.3 Zusammenfassung	39
2.3.1 Unit-testing Tools	39
2.3.1.1 unittest	39
2.3.1.2 doctest	40
2.3.1.3 pytest	41
2.3.2 Mock-testing Tools	41
2.3.2.1 stubble	41
2.3.2.2 mocktest	41
2.3.2.3 flexmock	42
2.3.2.4 doublex	42
2.3.3 Fuzz-testing Tools	43
2.3.3.1 hypothesis	43
2.4 Vergleich der Tools	43
2.5 Kombinierung von Tools	43
3 Diskussion: Test-driven development in der Praxis	43
3.1 Stärken von Test-driven development	43
3.2 Schwächen von Test-driven development	44

3.2.1	Vermeidbare Schwächen	44
3.2.2	Unumgängliche Schwächen	44
3.3	Wirtschaftlichen Aspekte von Test-driven development	44
3.4	Zusammenfassung	44
4	Fazit	44
5	Nachwort	44
	Literaturverzeichnis	45
	Listings	46
	Eidesstattliche Erklärung	62

Listingverzeichnis

1	Basis Modul zum testen	46
2	Basis Modul zum testen von mocks	46
3	unittest einfaches Beispiel	48
4	unittest einfaches Beispiel: Output erfolgreich	48
5	unittest einfaches Beispiel: Output misslungen	48
6	unittest my_module	49
7	doctest unterscheidet Typen	50
8	doctest unterscheidet Typen: Output	50
9	doctest verbose Output	50
10	doctest: my_module	51
11	doctest my_module: Textdatei	52
12	pytest setUp und tearDown	53
13	pytest setUp und tearDown Output	53
14	pytest my_module	53
15	pytest my_module: Output	54
16	pytest Abhängigkeiten	54
17	stubble: Impostor	54
18	stubble my_mock_module lastline	54
19	mocktest my_mock_module	56
20	flexmock my_mock_module	57
21	flexmock exception	58
22	python-doubles my_mock_module	59
23	hypothesis @given() Beispiel	60

Fußnotenverzeichnis

1	https://docs.python.org/3/license.html	11
2	http://pyunit.sourceforge.net/pyunit.html	16
3	https://docs.python.org/3/library/doctest.html	16
4	https://docs.python.org/3/library/unittest.html	17
5	https://github.com/nose-devs/nose	18
6	https://github.com/nose-devs/nose2	18
7	https://github.com/twisted/twisted	18
8	https://launchpad.net/testtools	18
9	Übersetzt aus dem Englischen	19
10	https://docs.python.org/3.7/library/doctest.html#option-flags	20
11	Brandl, van Rossum, Heimes, Peterson, Melotti et al., 2007.	20
12	Krekel und pytest-dev team, 2019.	20
13	https://github.com/pytest-dev/pytest/	21
14	https://www.reahl.org/docs/4.0/devtools/tofu.d.html	21
15	https://pypi.org/project/zope.testing/	21
16	http://www.zope.org/en/latest/	21
17	https://pypi.org/project/nose/1.3.7/	22
18	https://pypi.org/project/nose2/	22
19	https://pypi.org/project/testtools/	22
20	https://www.reahl.org/docs/4.0/devtools/stubble.d.html	22
21	https://github.com/timbertson/mocktest/tree/master	22
22	https://github.com/bkabrda/flexmock	22
23	https://bitbucket.org/DavidVilla/python-doublex	22
24	https://github.com/ionelmc/python-aspectlib	22
25	https://github.com/HypothesisWorks/hypothesis	22
26	https://github.com/pytest-dev/pytest/releases/tag/1.0.0	22
27	https://www.reahl.org/docs/4.0/devtools/stubble.d.html#systemoutstub	25
28	https://www.reahl.org/docs/4.0/devtools/stubble.d.html#callmonitor	25
29	https://github.com/benjaminp/six	26
30	http://rspec.info/	27
31	https://github.com/jimweirich/flexmock	29
32	Übersetzt aus dem Englischen	29
33	Übersetzt aus dem Englischen	31
34	Alises, 2014	31
35	https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/data.html	36
36	https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/data.html	37
37	https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/extras.html	38
38	https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/django.html	38
39	https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/numpy.html	38
40	https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/strategies.html	38
41	https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/quickstart.html	38
42	https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/examples.html	38

Glossar

annotation Eine Annotation ist das gleiche wie ein decorator, mit ausnahme, dass eine Annotation über jedem Wert, jeder Funktion und jeder Klasse stehen kann. Eine Annotation wird mit hilfe von `@{name}` über das zu annotierende Objekt geschrieben. Diese dienen dazu gewisse aktionen aus zu führen oder dem Programm etwas mit zu teilen, wie zum Beispiel, dass eine Methode veraltet ist. 36, 37

bug Ein Bug(zu deutsch Käfer) ist ein Fehler in einem Programm oder in einer Software. 11, 21

Command-line interface Eine Benutzerschnittstelle für das Terminal. 10

commit Ein commit ist die Sammlung von änderungen an Dateien, welche mithilfe eines VCS verwaltet werden. 21

contextmanager Ein Contextmanager in Python ist ein Objekt, dass einen Kontext bietet, in dem gearbeitet werden kann. Dieser Kontext wird mit `with contextmanager as c` geöffnet und schließt sich selbst beim verlassen des Kontextes. Dadurch stehen dem entwickler der nutzbare Kontext als Variable `c` zur Verfügung. 22, 25, 27

decorator Ein Decorator ist eine Funktion die eine andere Funktion oder Methode umschließt, wodurch der Code im Decorator vor und/oder nach der Funktion oder Methode ausgeführt werden kann. Ein Decorator wird einer anderen Funktion mit `@{decorator-funktion}` über der Funktions- oder Methoden-Definition übergeben. Das adjektiv für einen Decorator ist allerdings nicht dekorieren, sondern annotieren. 23, 25, 26

docstring Ein Docstring ist ein Block von Text der sich zwischen jeweils drei Anführungsstrichen befindet. Mit diesem Text wird ein Objekt in Python dokumentiert. 19

fixture Beschreibt die Präperation von Tests mit festen (fix) Werten, so wird zum Beispiel vor jedem Test eine Variable gesetzt. Dies dient der übersichtlichkeit, da dies dann nicht in jedem Test vorgenommen werden muss und um varianz zwischen Tests und Test läufen zu vermeiden. 14, 16–20, 22–24, 28, 40

fuzz-testing Beschreibt eine Art von Test, bei dem das zu testende Modul oder Programm mit zufälligen Werten aufgerufen wird. Dabei soll jede mögliche anwendung des Moduls oder Programms dargestellt werden. 14, 22, 38

mock Ein Mock (zu Detusch: Attrappe) ist ein Objekt, dass von dem zu mockenden Objekt abstammt. Das heißt es besitzt alle eigenschaften des originals, jedoch fügt es noch weitere Methoden hinzu. Diese ermöglichen das prüfen, welche weiteren Methoden und Funktionen mit welchen Parametern ausgeführt wurden. 4, 12, 14, 15, 17, 19, 20, 22–25, 27–31, 35, 41, 42

StackTrace Der StackTrace ist ein Protokoll der aufgerufenen Funktionen und Methoden die ineinander verschachtelt sind, bis hin zu der tiefsten Funktion/Methode die einen Fehler geworfen hat. 17, 18, 20

stub Ein Stub (zu Deutsch: Stumpf) ist, ähnlich wie ein Mock, eine Attrappe. Jedoch werden hier nicht weitere Methoden hinzugefügt, sondern lediglich die vorhandenen Methoden werden ersetzt. Dabei wird allerdings keine Logik implementiert, sondern es wird ein Wert gesetzt den die Methode zurück gibt. 15, 17, 25–34, 41, 42

Versions Control System Ein VCS ist ein Dienst, der es seinen Nutzern ermöglicht Änderungen an Dateien in einer Chronik zu speichern um später darauf zu greifen. Dies dient auch der Verteilung von Daten über mehrere Systeme sowie Sicherung der Daten vor Verlust. 10

Abkürzungsverzeichnis

CLI	Command-line interface
GNU	GNU is not Unix
GPL	GNU General Public License
GUI	Graphical User Interface
LGPL	GNU Lesser General Public License
STDLIB	Python Standard Bibliothek
TDD	Test-driven development
VCS	Versions Control System

1 Einleitung

TDD wird in der heutigen Softwareentwicklung immer verbreiteter und beliebter. Die Ansprüche an Software sind in den letzten Jahren immer weiter gestiegen. Dies liegt vor allem an der Reichweite, die Software heute hat. So besitzen im Jahr 2018 bereits circa 66% aller Menschen ein Smartphone (Schobelt, 2017). Im Arbeitsleben ist ein PC meist gar nicht mehr weg zu denken. Doch mit den steigenden Nutzerzahlen steigen auch die Anforderungen, welche die Nutzer an die Software stellen. Somit wird die Anzahl der gefundenen Bugs dementsprechend größer.

Im weltweiten Markt gibt es viele große Unternehmen, die gegenseitig um die Nutzer kämpfen. Selbstverständlich präferieren die Nutzer denjenigen Anbieter, welcher die bessere Software bietet. Dies kann sich heute jedoch stetig ändern. Mit der steigenden Anzahl an Bugs, die gefunden werden, steigt auch die Anzahl der Nutzer, die von diesen Bugs betroffen sind. Diese Bugs sollen natürlich schnellstmöglich gefixt werden um so zu verhindern, dass die Nutzer die Software wechseln.

So schwer es ist seine Nutzer zu halten, umso schwerer ist es, zum Start einer Software Nutzer zu akquirieren. Es gibt bereits Software, die ähnliche Services anbieten. So ist es noch schwerer dem Markt beizutreten. Die Anforderungen werden durch die bereits am Markt tätigen Firmen gesetzt, damit sollten Fehler, die bereits gelöst wurden nicht mehr auftauchen.

Für Unternehmen sind diese Anforderungen meist schwer zu meistern, weshalb Software meist mit Fehlern released wird, um diese dann von den Nutzern aufdecken zu lassen und zu fixen.

Sowohl als Entwickler als auch als Arbeitgeber muss man sich bei der Wahl der Programmiersprache Gedanken darüber ob und wie einfach eine Sprache für Test-driven development ein zu setzen ist. Der wichtigste Aspekt bei diesem Prozess ist die Auswahl und die Qualität der von der Sprache zur Verfügung gestellten Tools.

1.1 Die Programmiersprache Python

Python ist eine dynamisch Typisierte Programmiersprache, sie ist Open Source unter der Python Software Foundation License (PSFL¹). Eine dynamisch Typisierte Programmiersprache bestimmt zur Laufzeit welchem Typ eine Variable angehört, dies ist möglich, da Python eine Interpretierte und keine Kompilierte Sprache ist. Interpretierte Sprachen werden während sie ausgeführt werden in Maschinen Code umgewandelt, während Kom-

¹<https://docs.python.org/3/license.html>

pilierte Sprachen vorher umgewandelt werden, beides hat seine Vor- und Nachteile auf diese hier aber nicht weiter eingegangen werden soll.

Python unterstützt verschiedene Programmier-Paradigmen, wie die Funktionale Programmierung oder die Objekt Orientierte Programmierung. Dadurch, dass Python interpretiert ist wird die Sprache auch oft als Skript Sprache genutzt.

Das Hauptmerkmal der Sprache ist die Syntax die verwendet wird, in Python werden keine geschweiften Klammern genutzt, stattdessen verwendet man Einrückungen in Form von vier Leerzeichen. Dadurch entsteht ein leicht zu lesender Code der gerade für Anfänger leichter zu verstehen ist.

1.2 Test-driven development

Test-driven development ist eine Ausrichtung der Entwicklung nach einem definierten Schema. Bei TDD dreht sich in der Entwicklung alles um die Tests die ausgeführt werden sollen.

Der Basis Ansatz dabei ist, dass bevor der Tatsächliche Code geschrieben wird, die Anforderungen an den Code definiert sind. Je genauer die Definition ist, desto besser lässt sich TDD betreiben. Aus der Definition heraus lassen sich die einzelnen Units (Funktionen und Methoden) und deren angestrebte Funktionalität abstrahieren. Ist dies geschehen werden Tests geschrieben, die die Funktionalität der nicht vorhandenen Units prüft. Dabei sollte jede Spezifikation getestet werden die vorher fest gelegt wurde. Je nach Auslegung werden erst alle Tests und dann der Code geschrieben oder jeweils der Test und dann der Code, dabei ist es nicht von Nöten, dass der Entwickler der den Test geschrieben hat auch den Code schreibt.

Die Implementierung wird dabei stets so vorgenommen, dass ein Test nach dem Anderem erfolgreich ist, wobei Tests, die bereits Erfolgreich waren, immer Erfolgreich bleiben müssen. Bei diesem Prozess ist es normal, dass zunächst alle Tests fehl schlagen und von Zeit zu Zeit weniger werden. Der Ablauf ist demnach immer, Code schreiben, Tests ausführen, wenn Erfolgreich Code aufräumen und nächste Unit schreiben und wenn nicht Erfolgreich den Code verbessern. Dieser Prozess wird immer und immer wiederholt bis alle Tests erfolgreich durchgelaufen sind.

Sollten während der Test Phase Units auf anderen Units basieren können diese mithilfe von mocking ersetzt werden um so die Funktionalität unabhängig testen zu können. Wird dies nicht getan, so ist nicht mehr von Unit Tests die rede, sondern von Integration Tests.

Sollte dem Programm nun während der Entwicklung weitere Units hinzugefügt werden, so ist hier auch stets zuerst der Test zu schreiben und dann der Code. Das gleiche gilt auch wenn die Funktionalität einer Unit erweitert werden soll.

Neben dieser allgemeinen Herangehensweise gibt es auch Definitionen, wie die von Kent Beck in „Test Driven Development: By Example“ geschilderte. Demnach sieht der Entwicklungsprozess folgendermaßen aus (Beck, 2002):

1. Schreiben eines Tests, der neue Funktionalität oder Verbesserung zu einer bestehenden Unit hinzufügt. Dieser Test sollte möglichst kurz und aussagekräftig sein. Dazu muss der Entwickler die Spezifikationen und Anforderungen des Features genau verstehen um den Test wirklich effektiv schreiben zu können.
2. Alle Tests durchführen und sehen, ob der neue Test fehlschlägt. Dies bestätigt, dass der neue Test die anderen Tests nicht beeinflusst und auch ohne neuen Code nicht bestanden wurde. Dadurch kann der Entwickler ausschließen, dass ein Test immer Korrekt ist, wodurch das Vertrauen des Entwicklers in den Test gesteigert wird.
3. Schreiben des Code, dabei ist unwichtig wie unschön der Code ist, Hauptsache, der Test wird bestanden. Die Code Qualität spielt hier keine Rolle, da sie in Punkt Fünf überarbeitet wird. Der Entwickler darf in diesem Prozess auch keinen Weiteren Code hinzufügen, der nicht notwendig ist um den Test zu bestehen.
4. Alle Test durchführen und überprüfen ob alle Tests erfolgreich waren. Sollte dies nicht der Fall sein muss Punkt Drei wiederholt werden.
5. Der neue Code muss aufgeräumt werden. Dieser Punkt ist sehr wichtig, da in Punkt Drei der Code nur Funktionieren muss kann es sein, dass hier Code entstanden ist, der nicht den Anforderungen entspricht. Sämtliche Objekte sollten einen aussagekräftigen Namen erhalten und der Code sollte, sofern dies nötig ist an einen Ort verlegt werden, der seiner Logischen Aufgabe entspricht und Duplikationen sollten entfernt werden. Nach jeder Aufräumaktion sollten die Tests noch einmal ausgeführt werden, um zu verifizieren, dass alles noch so Funktioniert wie es sollte.

Dieser Vorgang soll für jedes Feature wiederholt werden bis alle Anforderungen an das Programm erfüllt sind. Dabei sollten die einzelnen Tests und Features möglichst klein sein.

2 Python Test-Tools

Dieses Kapitel befasst sich mit den von der STDLIB bereitgestellten Test-Tools, sowie denen aus externen Paketen. Diese werden unter [2.1](#) und [2.2](#) zusammengefasst, wobei diese unterteilt sind in unit-testing -, mock-testing - und fuzz-testing Tools.

Die unit-testing Tools sind Tools, die Funktionalität zum Testen bereitstellen. Jedoch wird für TDD weit mehr als nur Tests benötigt. Aus diesem Grund werden mock-testing - und fuzz-testing Tools zusätzlich behandelt. Dabei soll zwischen einer reinen Erweiterung eines Tools und der Erweiterung von allen Tools unterschieden werden. Ist zum Beispiel ein Tool nur zusammen mit einem anderen Tool, welches die Funktionalität bereitstellt Tests auszuführen, so ist dieses Tool als Erweiterung zu sehen und wird nicht analysiert. Bietet ein Tool allerdings Funktionen zum Erweitern von verschiedenen Test Tools, so wird es hier zur Analyse verwendet. Diese Unterscheidung wird genutzt um Duplikationen in den einzelnen Vergleichen zu vermeiden und verhindert, dass Tools mit sehr vielen Erweiterungen den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Sollten sich für ein Tool besonders interessante Erweiterungen finden, so werden diese in der Analyse des jeweiligen Tools erwähnt und verlinkt.

Jedes Tool wird anhand folgender Aspekte untersucht. Anwendbarkeit: Bietet das Tool alles, um TDD betreiben zu können? Bei unit-testing Tools beinhaltet dies Fixtures und Mocks gegenüber den verschiedenen Features bei den mock- und fuzz-testing Tools. Dieser Aspekt untersucht unter anderem auch die Abhängigkeiten, die ein Paket benötigt um betrieben zu werden. Mehr Abhängigkeiten führen dazu, dass mehr Entwicklern vertraut werden muss, dass diese Ihre Pakete aktuell und fehlerfrei halten. Der zweite Aspekt ist die Effizienz mit der sich ein Tool einsetzen lässt. Dabei wird darauf geachtet wie viel Aufwand benötigt wird, das Tool einzusetzen. Im besonderen wird hier auf die Vorarbeit, die benötigt wird um das Tool verwenden zu können geachtet. Des weiteren wird in diesem Aspekt bei den unit-testing Tools die Effizienz mit der Tests ausgewertet werden können analysiert. Als dritter Aspekt wird die Komplexität des Tools bewertet. Dabei wird die Komplexität nicht zwangsläufig als Negativ gesehen. Hat ein Tool viel Funktionalität neben seiner Basis Features, so hat es in diesem Bezug eine hohe Komplexität, die als Positiv zu sehen ist. Hingegen wird viel oder unübersichtlicher Code den das Tool produziert als Negativ Komplex gesehen. Zuletzt wird bei den unit-testing Tools auf die Erweiterbarkeit geachtet. Diese umfasst Erweiterungen der Entwickler als auch der Community. Bei den mock- und fuzz-testing Tools, wird dieser Aspekt aus

gelassen, da es sich bei diesen Tools vorwiegend um Erweiterungen zu den unit-testing Tools handelt.

Zum Vergleich der einzelnen unit-testing Tools untereinander werden diese auf den in Listing 1 abgebildeten Code angewendet. Da sich diese Arbeit auch mit mock-testing Tools beschäftigt, wurde auch für diese ein Modul geschrieben das zu testen ist. Der Code dazu befindet sich in Listing 2. Durch das anwenden des jeweiligen Tools auf diesen Code, ist es möglich die Aspekte dieser untereinander zu vergleichen.

Das Modul aus Listing 1 für die unit-testing Tools enthält eine selbst geschriebene Implementierung der Funktion `pow()`, welche eine Zahl `a` mit einer Zahl `b` quadriert. Um die Komplexität zu erhöhen wurde eine in-memory Datenbank implementiert, welche eine Items Tabelle enthält. Jedes Item hat eine ID (`id`), einen Namen (`name`), einen Lagerplatz (`storage_location`) und eine Anzahl der vorrätigen Items `amount`. Dazu besitzt jedes Item eine Methode `do_something()` welche eine externe Funktion/Methode, die jedoch noch nicht existiert `do_something_which_does_not_exist()`, aufruft.

Für die mock-testing Tools wurde eine Klasse geschrieben, welche Funktionen besitzt, durch ihren Namen ausdrücken, welche Aktion sie ausführen sollten. Um jedoch testen zu können, ob das jeweilige Tool diese Methode stuben kann, gibt nicht jede dieser Methoden das gewünschte Ergebnis zurück. Das Tool soll hier dafür sorgen, dass das gewünschte Ergebnis erfolgt. Selbstverständlich ist realer Code viel komplexer als in diesem Listing (2) dargestellt, jedoch reicht dieser Code aus, um viele Tools an die grenzen Ihrer Funktionalität zu bringen. So muss in `call_internal_functin_n_times` überprüft werden, ob sie `n` mal aufgerufen wurde. Auch `call_helper_help` wird nicht ohne weiteres funktionieren, da die Methode der Klasse `Helper` noch nicht implementiert wurde. Auch die Methode `return_false_filepath` bringt das ein oder andere Tool an die grenzen seiner Funktionalität, da eine externe Methode aus der `STDLIB` ersetzt werden muss, wobei dies nicht global geschehen darf.

Für die Fuzz-testing Tools werden keine Beispiele geschrieben, da diese meist auf komplexen Beispielen basieren um Sinn zu ergeben. Stattdessen werden im jeweiligen Kapitel kleinere Beispiel genannt, wie das Tool ein zu setzen ist oder es wird auf Beispiele aus der jeweiligen Dokumentation verwiesen.

Verfügt ein Tool über keinen Test-runner, so wird der von der `STDLIB` gestellte runner `unittest` verwendet.

2.1 Tools der Standard Bibliothek

Die Standard Bibliothek von Python bietet zwei verschiedene Test-Tools (Muthukadan et al., 2011). Zum einen `unittest`² und zum anderen `doctest`³. Diese beiden Tools sind im ihrem Umfang bereits so vielseitig, dass es einfach ist, eine hohe Testabdeckung eines Programms oder einer Bibliothek zu erreichen.

Beide Tools zählen zu den „Unit Testing Tools“ (Muthukadan et al., 2011) auf Deutsch Modul Test-Tools, mit deren Hilfe die einzelnen Module eines Programms getestet werden können. In einem Programm oder einer Bibliothek wären dies die einzelnen Funktionen und Methoden.

2.1.1 unittest

Das von JUnit inspirierte (Brandl, van Rossum, Heimes, Peterson, Pitrou et al., 2007) Tool `unittest`, ist Bestandteil der Python Standardbibliothek und bietet seit jeher seinen Nutzern ein umfangreiches Repertoire an Funktionen zum Testen von Python Code. Die Funktionalität von `unittest` lässt sich mit folgenden Punkten beschreiben: Fixture, zum Präparieren der Tests, Test Fälle, zum Gliedern einzelner Tests, Testumgebungen, zum Gliedern von zusammengehörigen Tests und Test runner, zum Ausführen von Testumgebungen oder Test Fällen. Diese Funktionalität von `unittest` ermöglicht es Anwendern eine komplette Testumgebung zu erstellen und zu nutzen.

Dazu wird die Testumgebung, eines der Hauptfeatures von `unittest` verwendet, mit der es möglich ist, Tests in logische Klassen zu gliedern. Es besteht die Möglichkeit ohne die Testumgebung `unittest` ein zu setzen, jedoch ermöglichen Sie eine strukturierte Arbeitsumgebung, sowie die Verwendung von Fixtures.

Jede Testumgebung verfügt über Testfälle, welche einen Test repräsentieren. Ist eine `setUp()` und/oder `tearDown()` Methode für eine Testumgebung definiert, so werden diese vor und nach jedem Test ausgeführt. Alternativ kann dies aber auch nur bei einer Initialisierung der Testumgebung und beim Verlassen dieser geschehen. Allerdings sind die Tests danach nicht mehr untereinander unabhängig, weshalb sie dann „Integration Tests“ genannt werden.

Test Fälle bestehen aus den jeweiligen Tests, die mit Hilfe der verschiedenen `assert` Methoden von `unittest` geprüft werden. Eine `assert` Methode stellt eine Behauptung auf, die getroffen werden muss, damit ein Test als bestanden angesehen wird. Die von `unittest`

²<http://pyunit.sourceforge.net/pyunit.html>

³<https://docs.python.org/3/library/doctest.html>

bereit gestellten Methoden unterscheiden sich ein wenig von der `assert` Methode aus der `STDLIB`. Eine Überprüfung auf `True` würde mit der aus der `STDLIB` stammenden Funktion so aussehen `assert xy is True`, während `unittest` eine Methode bereit stellt, mit der es etwas kürzer und leichter zu lesen ist, `assertTrue(xy)`. `unittest` stellt noch viele weitere dieser Methoden zur Verfügung. Die Dokumentation verweist auf diese ⁴.

Ein kleines Beispiel zu den `assert` Methoden ist in Listing 3 zu finden. Dabei wurde die Funktion `my_pow()` aus `my_module` (Listing 1) getestet. Dabei ist zu erkennen, wie problemlos es möglich ist, eine Funktion auf einen Wert zu prüfen. Dies geschieht einerseits anhand eines selbst errechneten Wertes und andererseits anhand der Quadratfunktion aus der `STDLIB`.

Um mit TDD Units unabhängig testen zu können, müssen abhängige Units mit einem Mock oder einem Stub ersetzt werden. Durch die `Fixtures` ist es bereits möglich den Test oder die Tests so vor zu bereiten, dass diese funktionieren. Jedoch bieten Mocks einfachere und schnellere Möglichkeiten Funktionen, Methoden, Klassen usw. zu imitieren.

Jedoch gibt es in der `STDLIB` eine Erweiterung zu `unittest` mit dem Namen `unittest.mock` welche unter eben diesem importiert werden kann, um die mocking Funktionalität zu bekommen. Diese Erweiterung, auch als submodule bezeichnet ist Teil der `STDLIB` seit Python 3.3 wie in PEP417 definiert wurde (Foord et al., 2012).

`unittest` bietet des Weiteren ein CLI, mit welchem es dem Benutzer möglich ist, seine Tests gebündelt aus zu führen und aus zu werten. Mit dem CLI ist es auch auch möglich, automatisch Tests in einem Ordner zu „entdecken“(discover) und aus zu führen. Dadurch ist es sehr leicht neue Tests in ein bestehendes Test System ein zu führen und diese ohne Veränderungen am bestehenden System aus zu führen.

Die folgenden Listings 4 und 5 zeigen wie ein erfolgreicher und ein Misslungener Test aussehen können. Beide Outputs stammen aus dem Test der `my_pow()` Funktion aus Listing 1. In beiden Listings ist gut zu erkennen ob und was bei einem Test fehlgeschlagen ist. Der erfolgreiche Test zeigt dem Nutzer sofort wie viele Test in wie vielen Sekunden gelaufen sind. Falls gewünscht kann der Nutzer mit `--verbose` sich noch mehr Informationen anzeigen lassen. Bei mislungenen Tests ist im Output immer der `StackTrace` abgebildet um so den Fehler bis zur Wurzel zurück verfolgen zu können. Auch der Fehler selbst wird in den Output geschrieben, wie in Zeile 8 in Listing 5 zu erkennen ist. Am Ende wird auch noch einmal angezeigt, wie viele Tests fehlgeschlagen sind.

Um einen Vergleich zwischen den unit-testing Tools zu schaffen wurde die in Listing 1 definierte Klasse `Item` mit `unittest` getestet. Der Code dazu ist in Listing 6 zu finden.

⁴<https://docs.python.org/3/library/unittest.html>

Die Tests wurde in einer Testumgebung gegliedert und verfügen über eine `setUp()` und `tearDown()` Fixture. Die `setUp()` Methode startet eine Datenbank session auf der gearbeitet werden kann, sowie ein Objekt `self.item`, mit welchem in den jeweiligen Tests gearbeitet wird. Die `tearDown()` Methode sorgt dafür, dass die Datenbank nach jedem Test geschlossen wird, um sicher zu stellen, dass nicht ungenutzte Datenbank Sessions offen sind. Im ersten Test wird überprüft, ob ein der Datenbank hinzugefügtes Objekt auch wirklich in dieser ist. Im zweiten Test wird überprüft, ob es möglich ist eine nicht existierende externe Funktion zu ersetzen, sodass die Tests erfolgreich verlaufen.

Im Aspekt Anwendbarkeit bietet `unittest` alles um als Tool für TDD in Frage zu kommen, jedoch nur unter Einbezug der Erweiterung `unittest.mock`. Da sich das Tool in der `STDLIB` befindet, sind keine weiteren Pakete zur Verwendung von `unittest` nötig.

Die Effizienz Tests aus zu werten ist hoch. Ein Entwickler kann mit ein paar Zeilen Code eine Testumgebung, die Fixtures besitzt, sowie verschiedene Testfälle, die von ihnen abhängig sind, aufsetzen. Der Code, der vor den eigentlichen Tests geschrieben werden muss, hält sich also in Grenzen. Die Effizienz mit der ein Entwickler Tests auswerten kann ist hingegen nicht optimal. Bei mehreren Fehlern und langem StackTrace wird der Output sehr schnell sehr unübersichtlich für das Terminal. Ein farbiger Output würde hier ein wenig Abhilfe schaffen.

`unittest` bietet einiges an Funktionalität zum Schreiben von Tests. Durch die verschiedenen `assert` Methoden, die bereit gestellt werden, ist es möglich übersichtliche und lesbare Tests zu schreiben, die dennoch Ihre Funktion erfüllen. Die gebotene Funktionalität sollte für die meisten Nutzer, abgesehen von ein paar Edge cases, bei denen spezielle Anforderungen gestellt sind, ausreichend sein.

`unittest` verfügt über einige interessante Erweiterungen, welche das Tools mit neuen Funktionalitäten auffrischen. Die folgende Auflistung zeigt ein paar der bekannteren Erweiterungen: `nose`⁵(veraltet), `nose2`⁶, `twisted`⁷ und `testtools`⁸.

2.1.2 doctest

„Das `doctest` Modul sucht nach Textstücken, die wie interaktive Python-Sitzungen aussehen, und führt diese Sitzungen dann aus, um sicherzustellen, dass sie genau wie gezeigt

⁵<https://github.com/nose-devs/nose>

⁶<https://github.com/nose-devs/nose2>

⁷<https://github.com/twisted/twisted>

⁸<https://launchpad.net/testtools>

funktionieren.“⁹ (Brandl, van Rossum, Heimes, Peterson, Melotti et al., 2007). Diese Textstücke müssen sich in Kommentaren befinden, da sie sonst von Python als Code interpretiert werden.

doctest bietet dem Nutzer eine Möglichkeit mit Hilfe von einem Test den Code zu dokumentieren. Da doctest lediglich Code, wie in einer interaktiven Python-Sitzung ausführt, werden die Möglichkeiten der Ausführung auf das, was im Code geschrieben ist, beschränkt. Testfälle oder gar Mocks sind hierbei nur bedingt realisierbar. Fixtures hingegen sind in Form von Code, der vor dem Test ausgeführt wird, teilweise realisierbar.

doctest selbst nutzt keine `assert` Funktionen oder -Methoden, stattdessen wird der Output eines Befehls überprüft. So ergibt eine Funktion `return_3(s=None, i=None)` bei `s=True` eine `'3'` und bei `i=True` eine `3`. Dieses Beispiel ist in Listing 7 zu sehen. Um einen Output zu erzeugen wurde noch ein fehlerhafter Test hinzu gefügt. Dieser Output ist in Listing 8 zu sehen.

Möchte der Entwickler einen etwas größeren Test schreiben, so kann er sich einer Funktionalität von doctest bedienen, die es ihm ermöglicht Tests in eine externe Datei zu verlagern. Dabei wird die Datei als ein Docstring behandelt, wodurch sie keine `"""` (drei Interpunktionszeichen) benötigt. Um jedoch Code in diese Datei ausführen zu können muss das zu testende Modul importiert werden.

Durch das Schreiben der Tests in den Docstrings werden die Module, in denen längere Tests geschrieben werden, schnell sehr unübersichtlich und lang. Zwar wird durch externe Textdateien Abhilfe geschaffen, dennoch sind zu lange und komplexe doctests schwer zu lesen und nach zu vollziehen.

Das Listing 10 zeigt den Code aus Listing 1 versehen mit Docstrings. Dieser Test wurde mit Hilfe der `main` Funktion von Python ausgeführt. Der in Listing 11 ausgelagerte Test wurde mit Hilfe des CLIs von doctest ausgeführt. Da beide Tests keine Fehler werfen, existiert auch kein Output für diese Tests. Die einzige Möglichkeit hier einen Output zu bekommen wäre mit `-v` im CLI oder `verbose=True` im Funktionsaufruf. Die dort dargestellten Informationen zeigen lediglich, welche Kommandos ausgeführt wurden, was erwartet wurde und dass, das Erwartete eingetroffen ist. Ein kleines Beispiel ist in Listing 9 zu sehen.

Da doctest selbst keine Testfälle unterstützt, besitzt `unittest` eine Integration für doctest. Diese ermöglicht es Tests aus Kommentaren, sowie Textdateien in `unittest` zu integrieren und zu gliedern. Wie `unittest`, ist auch doctest in der `STDLIB`, wodurch keine externen

⁹Übersetzt aus dem Englischen

Abhängigkeiten geladen werden müssen.

Im Bezug auf die Anwendbarkeit von `unittest` lässt sich sagen, dass nicht alles zur Verfügung steht um TDD zu betreiben. Tests können nicht vor der eigentlichen Funktionalität geschrieben werden. Fixtures und Mocks werden nicht unterstützt.

Die Anforderungen für `doctest` sind sehr gering. Das Testen geschieht mit Hilfe der interaktiven Python-Sitzung, welche jedem Pythonentwickler bekannt ist. Die Tests selbst sind Aufrufe der geschriebenen Funktionen und Methoden, sowie ein Abgleich des Outputs mit dem erwarteten Wert. Sollten allerdings Fixtures gewünscht sein, so ist dies nur mit Vorarbeit möglich, da diese jedes mal an der benötigten Stelle geschrieben werden müssen. Der Output von `doctest` gleicht dem von `unittest` und verfügt über die selben Schwächen. Bei vielen Fehlern und langem StackTrace wird der Output im Terminal schwer lesbar. Die Effizienz mit der `doctest` genutzt werden kann, ist demnach mittelmäßig. Zum einen ist es einfach Tests zu schreiben und zum anderen ist viel Code nötig. Funktionalität, wie das mocken, fehlen.

`doctest` selbst bietet wenig Komplexität von sich aus. Stattdessen ist die Komplexität, die möglich ist vom Entwickler abhängig, da dieser die Tests komplett selber schreiben muss. Je nach zu testender Funktion/Methode kann dies abhängig des Test Aufwands schnell unübersichtlich werden, wenn viel Code abseits des eigentlichen Tests benötigt wird. `doctest` stellt dem Entwickler lediglich ein paar Möglichkeiten Optionen zu aktivieren, die den Test beeinflussen können. Diese sind in der Dokumentation unter dem Punkt Option Flags zu finden¹⁰.

Als Erweiterung bestet lediglich die Integration in `unittest`¹¹ sowie `pytest`¹².

Da sich mit `doctest` Funktionen nicht präparieren lassen, ist dieses Testmodul für die alleinige Anwendung in TDD nicht nutzbar. Das Tool bietet keine Möglichkeiten Objekte zu mocken, wodurch Tests an nicht implementierbaren Methoden und Funktionen scheitern. Auch Fixtures sind nur bedingt realisierbar und benötigen viel Code, der dupliziert werden muss, da dieser vor und nach jedem Test geschrieben werden muss.

¹⁰<https://docs.python.org/3.7/library/doctest.html#option-flags>

¹¹Brandl, van Rossum, Heimes, Peterson, Melotti et al., 2007.

¹²Krekel und pytest-dev team, 2019.

2.2 Tools abseits der Standard Bibliothek

Abseits der Standard Bibliothek gibt es einige Tools deren Nutzung von Vorteil gegenüber der STDLIB ist. Diese werden unter diesem Punkt aufgeführt.

Auf <https://wiki.python.org/moin/PythonTestingToolsTaxonomy> werden viele externe Tools gelistet. Jedoch scheinen viele inaktiv zu sein, da ihre commits teilweise mehr als ein Jahr zurück liegen. Dies ist weder für eine Bibliothek noch für ein Tool ein gutes Zeichen, da sich die Anforderungen stetig ändern und niemals alle Fehler behoben und Features implementiert sein können.

Manche der dort aufgelisteten Tools sind bereits oder werden gerade in andere Tools integriert. Dies ist nötig, da ein Tool eine Erweiterung für ein anderes war und die Entwickler die Änderungen angenommen haben oder um die Tools zu verbessern und mehr Entwickler zur Verfügung zu haben. Selbstverständlich können auch andere Gründe dafür verantwortlich sein.

Da sowohl Software als auch Programmiersprachen sich stetig weiter entwickeln, werden in dieser Arbeit nur jene Tools behandelt, die sich diesen Entwicklungen anpassen. Diese Anpassung zeigt sich durch die Unterstützung der aktuellsten Version von Python oder durch neue Innovationen, sowie Bug-fixes. Aus diesem Grund werden Tools, deren letzter Commit weiter als ein Jahr zurück liegt, hier nicht behandelt.

Lässt man zusätzlich die Erweiterungen von Tool zunächst außen vor, so bleibt lediglich `pytest`¹³ übrig (Muthukadan et al., 2011). Tools, wie `reahl.tofu`¹⁴ oder `zope.testing`¹⁵, sind zwar mehr oder weniger aktiv, da sie beide auf die neusten Python Versionen patchen, jedoch bieten sie sonst keinen Mehrwert in ihren Updates. `reahl.tofu`¹⁴ selbst ist auch nur eine Erweiterung für bestehende Test Tools, wie zum Beispiel `lstinlinetest`, weshalb es hier nicht behandelt wird. So wird `zope.testing`¹⁵ auch nicht behandelt, da dieses Tool wie bereits beschrieben, nicht aktiv weiter entwickelt wird, da es eher, `zope`¹⁶ Applikationen und nicht Python Applikationen testet.

¹³<https://github.com/pytest-dev/pytest/>

¹⁴ <https://www.reahl.org/docs/4.0/devtools/tofu.d.html>

¹⁵ <https://pypi.org/project/zope.testing/>

¹⁶<http://www.zope.org/en/latest/>

Der Test-Runner [nose](#)¹⁷, der eine Erweiterung zu [unittest](#) bietet, ist nicht mehr in Entwicklung, dennoch haben sich ein paar Liebhaber des Tools zusammengeschlossen und [nose2](#)¹⁸ geschrieben. Da [nose2](#)¹⁸ wie sein Vorfahre eine Erweiterung zu [unittest](#) darstellt, wird es hier nicht analysiert.

Auch sehr bekannt ist [testtools](#)¹⁹, welches jedoch auch als Erweiterung zu [unittest](#) gesehen werden muss. Hier findet ebenfalls keine Weitere Entwicklung statt.

Als weitere Kategorie werden Mock-Tools geführt. Auch wenn fast alle unittest-Tools integriertes mocking haben, lässt sich mit diesen Tools meist mehr erreichen. Es wurden die gleichen Filter-Kriterien verwendet wie bei den unit-testing Tools (Muthukadan et al., 2011). Die demnach relevanten Tools sind: [stubble](#)²⁰, [mocktest](#)²¹, [flexmock](#)²², [python-doublex](#)²³ und [python-aspectlib](#)²⁴.

Als letzte Kategorie werden hier die Fuzz-testing Tools behandelt, da diese eine gute Möglichkeit bieten, Code ausgiebig zu testen. Das wohl umfangreichste und nach den obigen Kriterien einzige Tool ist [hypothesis](#)²⁵ (Muthukadan et al., 2011).

2.2.1 pytest

Das am 04. August 2009 in Version 1.0.0²⁶ veröffentlichte Tool `pytest` (auch `py.test` genannt) ist ein sehr umfangreiches und weit entwickeltes Tool. Seit 2009 wird das Tool stets weiter entwickelt und vorangetrieben, wodurch es eine Menge an Features gewonnen hat. Die Basis Features von `pytest` sind folgende: Simple assert Statements anstatt `self.assert`, Error Überprüfung mit Contextmanager, Informativer Output in Farbe, der angepasst werden kann, Feature reiche Fixtures sowie Vordefinierte Fixtures von `pytest` selbst, die unter den verschiedenen Tests geteilt werden können oder Global definiert für mehrere Module verfügbar gemacht werden können, sowie die Parametrisierung dieser, die Überprüfung von `stdout` und `stderr` und zuletzt die Gliederung der Testfälle durch

¹⁷<https://pypi.org/project/nose/1.3.7/>

¹⁸ <https://pypi.org/project/nose2/>

¹⁹<https://pypi.org/project/testtools/>

²⁰<https://www.reahl.org/docs/4.0/devtools/stubble.d.html>

²¹<https://github.com/timbertson/mocktest/tree/master>

²²<https://github.com/bkabrda/flexmock>

²³<https://bitbucket.org/DavidVilla/python-doublex>

²⁴<https://github.com/ionelmc/python-aspectlib>

²⁵<https://github.com/HypothesisWorks/hypothesis>

²⁶<https://github.com/pytest-dev/pytest/releases/tag/1.0.0>

Markieren, Nodes (Auswahl der Modul Abhängigkeit) oder anhand der Funktionsnamen (String Abgleich)(Krekel und pytest-dev team, 2019).

Wie anhand der Basis Features erkennbar ist, bietet pytest einiges um Tests zu schreiben und aus zu führen. So ist mit den gebotenen Fixtures bereits eine Voraussetzung für TDD erfüllt, da pytest viele verschiedene Arten bietet, diese zu benutzen. Fixtures werden in pytest allerdings nicht mit `setUp` und `tearDown` geschrieben, sondern werden mit Hilfe eines decorators markiert und den Test Funktionen als Parameter übergeben. Um die `setUp` und `tearDown` Funktionalität zu bekommen muss lediglich das keyword `yield` verwendet werden. Die Fixture wird dann den Code bis zum `yield` ausführen und nach der Funktion den Rest nach `yield` ausführen. Ein Beispiel dazu ist in Listing 12 zu finden, der dazugehörige Output in Listing 13. Diese lassen sich durch zusätzliche Parameter weiter anpassen. Die dazugehörigen Dokumentation ist in Kapitel Fünf der Dokumentation beschrieben (Krekel und pytest-dev team, 2019).

Des Weiteren bietet pytest auch mocking. So lässt sich beispielsweise mit `monkeypatch.setattr()` der Rückgabe Wert einer Funktion ersetzen. Dies wird in pytest automatisch am Ende der Funktion rückgängig gemacht, wodurch der Entwickler sich mehr auf das eigentliche Testen konzentrieren kann und weniger um das Aufräumen nach dem Testen. Auch hier bietet pytest weitere Möglichkeiten Mocks zu verwenden. Die dazugehörige Dokumentation ist in Kapitel Sieben zu finden (Krekel und pytest-dev team, 2019).

Ein weiteres Feature von pytest ist die Gliederung in Test-Fälle. Diese lassen sich vom Entwickler mit vielen Einstellungsmöglichkeiten verfeinern. So lässt sich, wie in den Basis Features bereits beschrieben, ein Test mit einer oder mehreren Markierungen versehen, wodurch eine Gliederung nach Markierung entsteht. Durch die Selektion bestimmter Wörter lassen sich Tests nach ihrem Namen gliedern. So entsteht einerseits eine Gliederung zur Ausführung der Tests und andererseits eine Gliederung für die Entwickler, die sie selbst im Code sehen können. Als letzte Alternative lassen sich Tests anhand ihrer Module ausführen. Dies geschieht durch die Angabe der Module. So würde `test_datei.py::TestKlasse::test_methode` den Test `test_methode` der Klasse `TestKlasse` in der Datei `test_datei.py` ausführen. Diese Features sind in Kapitel Sechs notiert (Krekel und pytest-dev team, 2019).

Selbstverständlich bietet `pytest` noch weitere Features, jedoch sind diese nicht zwangsläufig notwendig um TDD zu betreiben und sind mehr ein „nice to have“ Feature, als ein wirklich benötigtes. Für eine vollständige Auflistung und Erklärung aller Features kann jederzeit unter <https://docs.pytest.org/en/latest/> die aktuellste Version der Dokumentation abgefragt werden.

Das Testen des in Listing 1 definierten Moduls gestaltete sich mit `pytest` ohne Probleme (vgl. Listing 14, sowie 15). Da beim Testen keine Probleme gefunden wurden, wird hier nicht weiter auf den Test eingegangen.

Im Aspekt der Anwendbarkeit bietet `pytest` alles, um TDD effektiv anwenden zu können, da sowohl `mocking`, als auch `Fixtures` ohne Erweiterungen möglich sind und dazu noch im Umfang einiges zusätzlich zur Basisfunktionalität bieten. Da `pytest` nicht in der `STDLIB` ist, muss es aus externen Quellen installiert werden. Dabei werden für `pytest 4.4.0` die in Listing 16 gezeigten Abhängigkeiten installiert. Demnach benötigt `pytest` sechs externe Abhängigkeiten.

Da `pytest` keine neuen `assert` Methoden hinzufügt, lässt sich ein Test ohne großen Zeitaufwand und Komplikationen schreiben. Mit `pytest` ist es dem Entwickler möglich mit einem geringen Aufwand `Fixtures` und `Mocks` zu nutzen.

Die Effizienz, mit der `pytest` verwendet werden kann, ist hoch, denn der Entwickler muss keine neuen Konstrukte lernen um Tests zu schreiben. Die Auswertung der Tests erfolgt auf der Konsole in farbigen Output und lesbarer Gliederung, wie in Listing 15 zu sehen ist. Demnach ist es dem Entwickler möglich, ohne großen Zeitaufwand die Ergebnisse der Test effizient auszuwerten.

Die Features von `pytest` sind äußerst umfassend und bieten dem Nutzer nahezu alles an Funktionalitäten, die gewünscht sein könnten. Durch die unkomplizierte Verwendung von `pytest` ist es den Entwicklern möglich, einen übersichtlichen und gut lesbaren Code zu schreiben. Dieser wird auch mit steigender Komplexität, dank der Strukturen von `pytest` nicht weniger lesbar.

Sollten dem Nutzer die Features von `pytest` nicht genügen, so lässt sich unter <http://plugincompat.herokuapp.com/> eine Liste von 618 (Stand: 2. April 2019) Erweiterungen für `pytest 4.3.0` finden. `pytest` selbst kann allerdings auch als Erweiterung zu `unittest` genutzt werden, indem es als Test-runner für diese verwendet wird. Dadurch ist es dem Entwickler möglich, den verbesserten Output von `pytest` zu verwenden.

2.2.2 Mocking Tools

Um eine bessere Gliederung zur Verfügung zu stellen, werden die Mocking Tools in diesem Kapitel gegliedert.

Wie in [Python Test-Tools](#) bereits beschrieben, werden hier Tools analysiert, die eine Erweiterung für Test Tools im Bezug auf verbessertes mocking zur Verfügung stellen.

2.2.2.1 stubble

stubble zählt zwar zu den mocking Tools, jedoch werden hier nur Stubs als Funktionalität gegeben. Demnach ist es zwar möglich Objekte zu ersetzen und Rückgabewerte zu fälschen, jedoch lässt sich nicht verfolgen, wie oft und mit welchen Parametern ein Objekt aufgerufen wurde.

Angenommen ein Objekt `class Original` hat eine Abhängigkeit zu dem zu testenden Objekt. Mit `stubble` lässt sich ein Objekt `class Fake` erstellen, welches einen decorator besitzt `@stubclass(Original)`. Dadurch stellt `stubble` sicher, dass alle Methoden aus `class Fake` der Signatur derer aus `class Original` entsprechen. Zusätzlich kann `class Fake` von `class Original` erben, wodurch nur die Funktionen überschrieben werden, die in `class Fake` definiert wurden.

Um Helfermethoden zu `class Fake` hinzu zu fügen, müssen diese mit `@exempt` annotiert werden. Ist das Objekt von `class Original` bereits initialisiert, so lässt es sich dieses an `class Fake` übergeben, wenn diese von `reahl.stubble.Delegate` erbt. Dadurch ist es möglich zur Laufzeit ein Objekt durch einen Stub ersetzen. Als weiteres Feature wird die Möglichkeit geboten Stubs mit `setuptools` zu verwenden um Installationen zu stubben.

Die Hauptfeatures von `stubble` sind jedoch die vorgefertigten Stubs. So werden dem Entwickler folgende Stubs geboten: Zum einen der [SystemOutStub](#)²⁷, der den Standard Out ersetzt und zum anderen der [CallMonitor](#)²⁸, der dazu dient zu überprüfen welche Methoden wann, mit welchen Parametern und wie häufig aufgerufen wurden. Diese Stubs lassen sich als contextmanagers einsetzen, wodurch es leichter wird, Code mit diesen zu schreiben. Ein weiterer Contextmanagers ist `replaced`, dieser lässt den Entwickler eine Methode oder Funktion durch eine andere ersetzen, wodurch solange der contextmanagers aktiv ist, die neue Methode/Funktion genutzt wird.

²⁷<https://www.reahl.org/docs/4.0/devtools/stubble.d.html#systemoutstub>

²⁸<https://www.reahl.org/docs/4.0/devtools/stubble.d.html#callmonitor>

Des Weiteren bietet stubble einige experimentelle Features, die jedoch eher weniger für den praktischen Einsatz geeignet sind (Vosloo, Sparks und Nagel, 2018), aber dennoch interessante Features darstellen. So ist es möglich, `class Fake` von `reahl.stubble.Impostor` erben zu lassen, wodurch jede Instanz von `class Fake` eine Instanz von `class Original` ist. Das Beispiel dazu ist in Listing 17 zu finden.

Ein weiteres experimentelles Feature ist das Ersetzen eines bereits bestehenden Objekts (Delegation). Dies wurde bereits in den Hauptfeatures beschrieben, da es als sehr praktisch an zu sehen ist. Lediglich die Instanz-variablen eines Objektes machen hierbei Probleme, da diese nicht mit einem Stub ersetzt werden können. So werden auch Objekt-variablen, die von originalen Methoden gesetzt oder verändert werden, nicht im Stub gesetzt. Aus diesem Grund wird Delegation als experimentelles Features gesehen, da ein Bug, der durch dieses Feature entstanden ist, schwer zu finden ist (Vosloo et al., 2018).

Der Code für den Vergleichstest von stubble ist in Listing 18 zu finden. Mit stubble alleine lässt sich dieser in Listing 2 definierte Code nicht zu 100% optimal testen. So ist die nicht existierende Methode `Helper.help(self)` nicht ohne Probleme zu ersetzen. Dies gelingt, lediglich, wenn in der Stub Klasse die Methode `help(self)` definiert und sie mit `@exempt` annotiert wird. Jedoch verliert man dadurch die Funktionalität von stubble, welche überprüft ob die Signatur der Funktionen übereinstimmen. Alternativ wäre es möglich eine Klasse zu nehmen, die ohne die `@stubclass` auskommt. Ansonsten zeigt der Code, wie ein recht simples Tool viel erreichen kann, wenn auch mit viel Code abseits der Tests. Dabei ließ sich `os.path.abspath(path)` ohne Komplikationen mit Hilfe von `reahl.stubble.replaced` ersetzen. Das Abfangen des STDOUTs mit Hilfe der vorgefertigten Stubs erwies sich als unkompliziert.

Im Bezug auf die Anwendbarkeit für TDD ist stubble demnach ein Tool, das durchaus in Betracht gezogen werden kann. Auch die Abhängigkeiten halten sich mit einer Abhängigkeit (`six`²⁹) in Grenzen.

Die Effizienz mit der ein Entwickler stubble einsetzen kann ist hoch, denn abgesehen von einem decorator benötigt der Entwickler nichts weiter um Objekte zu ersetzen.

Lediglich die Komplexität von stubble ist geringer. Zwar wird dem Entwickler alles geboten um ein Objekt zu ersetzen, jedoch aber auch nicht mehr. Zusätzlich bietet stubble mit seinen vorgefertigten Stubs eine gute schnelle Möglichkeit den stdout zu ersetzen oder ein Objekt zu Monitoren. Um jedoch selbst ein Objekt zu auszutauschen, wird

²⁹<https://github.com/benjaminp/six>

vergleichsweise viel Code benötigt, da nicht nur der Rückgabewert neu gesetzt wird, sondern die Methode neu geschrieben werden muss. Dies kann allerdings bei komplexeren Anforderungen wiederum zum Vorteil werden, weshalb sich das ganze wiederum ausgleicht. Durch die Contextmanagers ist der Code, der geschrieben wird, sehr übersichtlich und gut gegliedert.

2.2.2.2 mocktest

mocktest ist ein mocking Tool, das von [rspec](http://rspec.info/)³⁰ inspiriert wurde. Dabei soll mocktest kein Port von [rspec](http://rspec.info/)³⁰ sein, sondern eine kleine leichtere Version in Python (Cuthbertson, 2018). Da sich mocktest derzeit in der Version 0.7.3 (Stand 16. April 2019) befindet, sind noch nicht alle Features vollkommen entwickelt und ausgereift, dennoch lässt sich das Tool bereits produktiv einsetzen, da die Basisfunktionalität aus [rspec](http://rspec.info/)³⁰ bereits implementiert wurde.

Das Hauptfeature von mocktest ist die Testisolation. Diese verhindert, dass Mockobjekte außerhalb eines Test Falles weiterhin Veränderungen vornehmen und so andere Tests beeinflussen. Demnach werden Tests immer innerhalb einer `mocktest.MockTransaction` ausgeführt, sofern diese einen oder mehrere Mocks nutzen.

Innerhalb dieses Kontextes stehen dem Entwickler verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung Tests aus zu führen. So lässt sich beispielsweise überprüfen, ob eine Funktion oder Methode aufgerufen wurde. Dabei ist es nebensächlich, ob es sich hierbei um ein globales oder lokales Objekt handelt. Des Weiteren lassen sich auch Stubs nutzen, mit deren Hilfe Funktionen und Methoden präpariert werden können. Wie auch beim Überprüfen des Aufrufs ist es ebenfalls irrelevant, ob es sich um ein Lokales oder Globales Objekt handelt. Die Präparation lässt sich nach Bedarf auch anpassen, so kann der Entwickler beispielsweise festlegen, dass nur bei einem bestimmten Aufruf mit bestimmten Parametern das Mock Objekt aufgerufen wird. Andernfalls wird das originale Objekt genutzt.

mocktest nutzt unittest als Basis für seine Testumgebung. `mocktest.TestCase` erbt von `unittest.TestCase`, wodurch die gesamte Funktionalität von unittest geerbt wird. `mocktest.TestCase` führt dabei in seiner `setUp()` und `tearDown()` Methode Code aus, der benötigt wird, um mocktest nutzen zu können. Zusätzlich wird mit mocktest unittest um eine `assert` Methode erweitert. `assertRaises()` verfügt über eine verbesserte Funktionalität für die Überprüfung auf Exceptions. Ist es jedoch erwünscht unittest nicht zu verwenden, so ist es

³⁰ <http://rspec.info/>

möglich `mocktest.MockTransaction` als Kontextmanager mit `with MockTransaction:` zu nutzen. `MockTransaction.__enter__()` und `MockTransaction.__exit__()` sind die Methoden, die in `setUp()` und `tearDown()` automatisch aufgerufen werden, weshalb es möglich ist, `mocktest` mit jedem Test-runner zu verwenden, der Fixtures unterstützt.

Für die Überprüfung von Mocks kann entweder `when(obj)` oder `expect(obj)` verwendet werden. Der Unterschied hier ist lediglich, dass `when(obj)` nicht überprüft ob eine Methode aufgerufen wurde oder nicht. `expect(obj)` hingegen überprüft ob die Methode aufgerufen wurde. So würde Beispielsweise `expect(os).system` einen Fehler werfen, wenn `os.system` nicht aufgerufen wurde. Bei `when(os).system` wäre dies nicht der Fall. Ist es zu einem späteren Zeitpunkt gewünscht zu überprüfen wie oft und mit welchen Parametern ein Objekt aufgerufen wurde, ist es möglich `received_calls` ab zu prüfen. Diese Variable ist eine Liste von allen getätigten Aufrufen und ihren Parametern.

Folgende Features werden von `mocktest` unterstützt: Rückgabelvariation der Stubs mit `.and_return(erg1, erg2, ergX)` oder alternativ `.then_return()`, Festlegen der erwarteten Aufrufe einer Funktion/Methode mit `.at_least(n)`, `.at_most(n)`, `.between(a, b)` und `.exact(n)`, stuben von Methoden/Funktionen mit einer anderen Funktion/Methode mit Hilfe von `.then_call(ersatz_func)`, setzen von Klassen-variablen mit `.with_children(**kwargs)` und das setzen von neuen Klassen-Methoden mit Hilfe von `.with_method(**kwargs)` (Cuthbertson, 2018).

Diese Features wurden anhand des in Listing 2 definierten Codes, mit `mocktest` getestet (vgl. Listing 19). Bei der Implementierung der Tests gab es keine Komplikationen mit dem Tool. Da `mocktest` keine `setUp()` Methode benötigt um zu funktionieren, können hier ein paar Zeilen Code gespart werden. Durch `expect()` und `when()` ist es möglich jedes beliebige Objekt zu nehmen und zu ersetzen. Da die Implementierung keine Komplikationen aufwies wird hier auf eine weitere Analyse verzichtet.

Um TDD zu betreiben bietet `mocktest` alles, was ein Entwickler zum mocken benötigt. So ist es möglich bestehende Objekte gänzlich oder teilweise zu ersetzen, oder neue Objekte zu erstellen, welche die Signatur eines anderen Objektes haben. Auch globale Objekte lassen sich für den Zeitraum eines Tests ersetzen. Dadurch ist alles an Funktionalität geboten, was ein mock-testing Tool bieten muss.

Bezüglich der Effizienz kann `mocktest` problemlos eingesetzt werden, da quasi kein Vorwissen von Nöten ist um Objekte erfolgreich zu mocken. Die Vorarbeit, die geleistet werden muss, hält sich je nach Anwendungsfall in Grenzen oder ist so gering, dass sie kein Hindernis darstellt. Wird die von `mocktest` zur Verfügung gestellte Klasse `mocktest.TestCase` für einen Testfall genutzt, so ist bereits alles fertig und direkt einsetzbar. Selbstverständlich kann `mocktest.TestCase` je nach Bedürfnis um Funktionalität erweitert werden, jedoch ist dies als unkompliziert zu betrachten.

`mocktest` lässt den Entwickler Code schreiben, der sich wie gesprochen liest. Durch die Methoden `when(obj)` und `expect(obj)` lässt sich ein Mock erstellen, der mit Methoden angepasst werden kann, die wenn man sie aneinander reiht, sich wie ein Satz lesen. Dies ist zum einen durch die verschiedenen Aliase möglich, wie zum Beispiel `.once()` welches `.exact(1)` ausführt, als auch mit `.then_return()`. Abseits der eigentlichen Funktionalität, die mit `mocktest` genutzt wird, fällt kein Code an, der geschrieben werden muss um Tests ausführbar zu machen.

2.2.2.3 flexmock

`flexmock` ist ein weiteres Tool, dass von der Ruby Community inspiriert wurde. Dabei diente das gleichnamige Tool `flexmock`³¹ als Inspiration. „[...]“. Es ist jedoch nicht das Ziel von Python `flexmock`, ein Klon der Ruby-Version zu sein. Stattdessen liegt der Schwerpunkt auf der vollständigen Unterstützung beim Testen von Python-Programmen und der möglichst unauffälligen Erstellung von gefälschten Objekten.“³² (Kabrda und Sheremetyev, 2019). Die Features von `flexmock` sind denen von `mocktest` sehr ähnlich. So bildet `flexmock` seine Tests, stubs und mocks wie ausgesprochen dar.

`flexmock` bietet dem Nutzer einiges an Funktionalität, auch wenn es sich erst in der Version 0.10.4 (Stand 22. April 2019) befindet. So lässt sich bereits ein Stub für Klassen, Module und Objekte mithilfe von `flexmock()` einrichten. Damit ist es möglich alles was ein Entwickler zum erfolgreichen durchlaufen seiner Tests brauch zu erstellen.

Auch mocking ist kein Problem mit `flexmock`. Mit der gleichen Funktion, mit der auch Stubs erstellt werden lassen sich auch Mocks erstellen. Dadurch ist es möglich, einen Stub als einen Mock und umgekehrt zu verwenden. Daraus resultierend ist es dem Entwickler möglich zu überprüfen wie oft etwas aufgerufen wurde, welche Parameter verwendet

³¹<https://github.com/jimweirich/flexmock>

³²Übersetzt aus dem Englischen

wurden, welcher Rückgabe Wert zu erwarten ist und/oder welche Exception zu geworfen werden soll.

Zusätzlich ist es möglich originale Funktionen eines Objektes zu mocken, dadurch enthält der Entwickler die Möglichkeit zu überprüfen ob eine unveränderte Funktion oder Methode bestimmten Anforderungen Entspricht. Das Interface dafür, ist das gleiche wie bei einem Stub.

flexmock bietet des weiteren Funktionalität um den gefälschten Objekten neue Methoden hinzu zu fügen, wodurch nicht existierende Funktionen abgebildet werden können oder Objekte in ihrem Funktionsumfang temporär erweitert werden können.

Ein besonders interessantes Feature ist, dass überprüfen des Ergebnisses nach Typ. Dabei wird `.and_return()` nur der Typ mitgegeben, der erwartet wird. So würde `.and_return((int, str, None))` jedes Tuple zulassen, dass als ersten Wert einen int hat, als zweiten einen String und als drittes None. Dabei kann selbstverständlich auf jede beliebige Instanz überprüft werden, so auch auf eigene Klassen. Dies ist allerdings nur möglich bei `.should_call()` nicht bei `.should_receive()`.

Das letzte in der Dokumentation erwähnte Feature ist das Ersetzen von Klassen noch vor ihrer Instanziierung (Kabrda und Sheremetyev, 2019). Dabei gibt es mehrere Ansätze die allerdings auch verschiedene Ausgänge haben, der erste ist auf Modul Level, dabei wird im Modul die Klasse mit einem Objekt ersetzt, dass entweder ein flexmock sein kann oder ein Beliebiger anderer. Der Nachteil dieser Methode ist, dass es eventuell zu Problemen führen kann, dass die Klasse durch eine Funktion ersetzt wurde. Die alternative ist, `.new_instance(obj)` zu verwenden, welches beim Erstellen das Objekt zurück gibt, welches `.new_instance()` übergeben wurde oder man ersetzt die `__new__()` Methode der Klasse mit `.should_receive('__new__').and_return(obj)` was im Endeffekt das gleiche ist, nur ausgeschrieben.

Der Code zu Listing 2 wurde mithilfe des Codes aus Listing 20 getestet, dabei ergaben sich die eben aufgelisteten Aspekte von flexmock. flexmock überzeugt dabei mit der Einfachheit mit der es aufgesetzt werden muss. In der `setUp()` wird global im Modul `my_package.my_mock_module` die Klasse `NotMocked` ersetzt. Dadurch ist es möglich in jedem Test Fall eine Annahme auf zu stellen, die dann auf alle Objekte der Klasse `NotMocked` zutreffen. Der Aufwand diesen Code zu schreiben war demnach sehr gering. Lediglich das Erstellen einer Methode die im Originalen Objekt nicht existiert war nicht möglich, aus diesem Grund ist der Code in `test_call_helper_help()` nicht korrekt und wirft

eine Exception, diese kann in Listing 21 eingesehen werden.

Die Anwendbarkeit von flexmock ist ausgezeichnet, da es zunächst keine weiteren Abhängigkeiten installiert außer sich selbst und mit allen Test-runnern kompatibel ist. Im Bezug auf TDD lässt flexmock nichts zu wünschen übrig, dem Entwickler werden allerhand Funktionalität geboten Stubs oder Mocks zu erstellen und zu verwenden. Dabei lässt sich alles überprüfen von der Aufruf Anzahl bis zu den Parametern die verwendet wurden.

Im Aspekt Effizienz ist flexmock ein Parade-Beispiel, einmal flexmock() aufgerufen kann bereits los gelegt werden, dabei muss der Entwickler selbst wenig von mocking verstehen um die Funktionalität nutzen zu können, da sich der Code wie eine Aussage ließt. Das gleiche gilt natürlich auch für die Stubs.

Genauso ist die Komplexität von flexmock ausgezeichnet. An Funktionalität bietet flexmock fast alles was sich ein Entwickler wünschen kann und bietet dabei auch noch ein Interface, dass es ermöglicht übersichtlichen Code zu schreiben. Dies liegt vor allem an der deskriptiven Programmierung die von flexmock geboten wird. Unübersichtlich wird dadurch der Code nicht mehr als er im laufe der Zeit sowieso werden würde, eher noch hilft flexmock dabei die Übersicht länger zu wahren. Lediglich das ersetzen einer nicht Existenten Funktion/Methode war mit flexmock nicht möglich.

2.2.2.4 doublex

Mit doublex wird dem Entwickler ein Tool an die Hand gelegt, dessen Funktionalität sich voll und ganz um doubles dreht. Ein double ist je nach Anwendung ein Mock, ein Stub oder ein Spy(Spion), der eine Klasse oder ein Objekt imitiert (Alises, 2014).

doublex bietet drei Verschiedene Interfaces (vier zählt man die Unterklasse von Spy dazu), Stub, Spy (, ProxySpy) und Mock. Da die Dokumentation hier sehr schöne und treffende Beschreibungen nimmt, werden diese nun hier zitiert.

- „Stubs sagen dir was du hören willst.“^{33 34}
- „Spies erinnern sich an alles was Ihnen passiert.“^{33 34}
- „Proxy spies leiten aufrufe an Ihre originale Instanz weiter.“^{33 34}
- „Mock erzwingt das vordefinierte Skript.“^{33 34}

³³ Übersetzt aus dem Englischen

³⁴ Alises, 2014

Mit diesen Beschreibungen der einzelnen Interfaces kann ein Entwickler bereits entscheiden welches der Objekte relevant für die zu erledigende Arbeit ist, ohne den Code dazu kennen zu müssen. Um dennoch einen erweiterten Einblick zu schaffen werden die einzelnen Funktionen nun genauer beschrieben.

Wichtig ist hierbei zu beachten, dass `doublex` lediglich `doubles`, also Duplikate anbietet, die das gleiche Interface wie eine Klasse haben, jedoch keine Instanz dieser Klasse sind. Dadurch bleiben manche Möglichkeiten dem Entwickler verwehrt, wie zum Beispiel das Nutzen einer implementierten Methode aus der original Klasse. Die Duplikate sollen als Ersatz gelten für Objekte die in einer Bestimmten Umgebung ausgeführt werden müssen oder Änderungen vornehmen, die während einem Test nicht gewünscht sind.

Das Stub Interface ist, wie der Name bereits vermuten lässt, ein Stub mit dem es dem Entwickler möglich ist Rückgabe Werte von Funktionen zu setzen oder ähnliche Aktionen fest zu definieren. Dabei ist es dem Entwickler möglich zwischen verschiedenen Parametern zu unterscheiden oder gar auf alle Aufrufe zu prüfen.

Das Interface bietet auch die Möglichkeit Parameter von einem Objekt zu ändern um den Ausgang von Methoden zu verändern. Hierbei wird zwischen einem Stub und einem „free“ Stub unterschieden. Ersterer nimmt eine Klasse als Parameter und ersetzt diese, zweiterer nimmt keine Parameter und fungiert als generelles Objekt. Dabei ist der wichtigste Unterschied, dass der normale Stub nur Methoden ab ändern kann, die die originale Klasse auch besitzt, der „free“ Stub hingegen ist in dieser Hinsicht ungebunden und kann alles sein was der Entwickler programmiert, er ist also frei.

Als zweites Interface wird in der Dokumentation das Spy Interface erwähnt (Alises, 2014). Dieses bietet dem Nutzer die Möglichkeit Klassen zu überwachen, dabei legt der Entwickler fest welche Methode wie oft und mit welchen Parametern aufgerufen werden muss. Werden die Erwartungen nicht getroffen wird eine Exception geworfen. Das Überprüfen der Parameter ist dabei möglich, mithilfe des exakten Wertes, einer Regex oder mit dem von `doublex` definierten Schlüsselwort `ANY_ARG`, welches, wie der Name sagt, jedes Argument validiert.

Zusätzlich gibt es auch hier einen „free“ Spy, welcher von keiner Klasse abhängig ist. Hierdurch ist es möglich ist jede beliebige Methode auf diesem aus zu führen, ohne dass dies zu einer Exception führen würde. Ansonsten fungiert der freie Spy wie der normale auch.

Zusätzlich zum Spy und „free“ Spy, gibt es noch einen ProxySpy, welcher das zu überwachende Objekt aufruft und nicht ersetzt. Aus diesem Grund erhält der ProxySpy ein Objekt als Parameter und kein Klasseninterface. Sämtliche Methoden werden auf das originale Objekt ausgeführt wodurch keine Veränderung an diesem Vorgenommen werden kann.

Das letzte Interface, ist das Mock Interface. Mit diesem lässt sich vor dem Test festlegen welche Methode wann und wie aufgerufen werden muss, damit der Test erfolgreich ist. Die Reihenfolge spielt dabei eine wichtige Rolle, außer es wird `any_order_verify()` genutzt. Das Mock Objekt lässt sich dabei wie jedes andere Objekt verändern und wie ein Stub präparieren.

Auch der „free“ Mock ist wie bei den anderen Interfaces verfügbar und bietet die gleichen Möglichkeiten der freien Gestaltung des Objekts.

Zusammenfassen lässt sich sagen, das jedes Interface die Möglichkeit bietet eine Klasse zu verändern, ausgenommen der ProxySpy, der nur auf einer Instanz arbeiten kann.

Zu jedem Interface ist ein freies Interface verfügbar, welches mit beliebigen Methoden aufgerufen werden kann ohne Fehler zu werfen. Abschließend lässt sich zusätzlich noch sagen, dass jedes Interface, die Möglichkeit bietet stubing zu betreiben, wobei nur das Stub Interface sonst keine weitere Funktionalität bietet.

Die Features von `doublex` wurden auf den in Listing 2 definierten Code angewandt. Der daraus entstandene Code befindet sich in Listing 22.

Wie dort zu erkennen ist, konnte nicht jeder Test ohne Probleme validiert werden. So war es zwar möglich die ersten drei Tests erfolgreich zu validieren, jedoch ist es fraglich ob, dieser Code wirklich etwas bringt, da die getesteten Objekte einfach nur zurück geben, was erwartet ist und dabei nicht einmal das originale Objekt sind.

Bei dem Test, der eine interne Methode aufrufen soll kommt das Spy Interface an seine grenzen, denn es kann nicht überprüfen ob die interne Methode aufgerufen wurde oder nicht. Stattdessen wird eine Exception geworfen, welche in einem Kommentar in der Test Methode festgehalten wurde.

Das Testen ob `Helper.help()` aufgerufen wurde, war teilweise erfolgreich, da es dank des Duplikates ein Objekt mit dem Richtigen Interface bekommen hat, jedoch nicht vortäuschen konnte die gewünschte Klasse zu sein. Auch hier wurde der Fehler in einem Kommentar festgehalten.

Zuletzt sollte getestet werden ob das `os` Modul ausgetauscht werden kann, jedoch ist dies mit `doublex` leider nicht möglich. Der Fehler dazu wurde in einem Kommentar innerhalb der Funktion festgehalten, sowie eine mögliche, wenn auch umständliche Lösung. Diese würde das `os` Objekt duplizieren und der Methode als Parameter übergeben, was im Praktischen Einsatz aber nicht gemacht werden sollte, da dazu das Interface der Methode geändert werden muss.

`doublex` bietet dem Entwickler viel, aber nicht alles für effizientes TDD. Wie der Name des Tools verrät, handelt es sich um Duplikate von Objekten, deren Funktionalität aber vom Entwickler festgelegt werden muss. So würde eine Klasse mit einer Methode `return_input(input)` die den übergebenen Parameter zurück gibt standardmäßig `None` zurück geben, solange nichts anderes im Duplikat festgelegt wurde. Lediglich die Signatur des Aufrufs wird überprüft, so würde `stub.return_input()` eine Exception werfen.

Zwar lässt sich das Standardverhalten von `doublex` verändern, jedoch kann man hier nur einen festen Wert setzen der für alle nicht ersetzten Methoden gilt. Auch Globale Objekte oder Module lassen sich nicht ersetzen. Hinzu kommt das, dass Tool drei Abhängigkeiten benötigt und selbst noch nicht in stabilem Zustand ist. Während der Analyse sind zwei `DeprecationWarnings` aufgetaucht, wovon eine bereits mit Python 3.0 ausgelaufen ist. Dies weist auf eine nicht sehr aktive Entwicklung des Tools hin.

Selbstverständlich wurde die Fehler auf GitHub gemeldet, sodass der Entwickler sich in Zukunft darum kümmern kann. (Stand 23. April 2019)

Auch die Effizienz ist nicht optimal. Dadurch, dass das Duplikat nicht die originalen Methoden aufruft, muss jede Methode mit einem Return Wert überschrieben werden. Dies mag für manche Tests vollkommen ausreichen, macht aber die Entwicklung mit TDD sehr schwer, da Tests von Zeit zu Zeit ausgeführt werden müssen und dort die original Implementierung selbst verständlich genutzt werden soll. Hat man allerdings eine Externe Klasse auf die kein Einfluss ist kann dieses Tool durchaus nützlich werden.

An Komplexität fehlt es `doublex` ein wenig, so kann der Stub lediglich festlegen welche Funktion ausgeführt, welcher Rückgabewert zurück gegeben oder welche Exception geworfen wird.

Das Spy Interface hingegen ist leicht zu nutzen und bietet fast alles was ein Entwickler brauchen kann um zu überprüfen ob und wie etwas aufgerufen wurde. Jedoch scheitert es hier auch an der Implementieren von echten Objekten, so fungiert der `ProxySpy` zwar als Spy auf einem Objekt, jedoch kann er nur verzeichnen welche Methode auf Ihm aufgerufen wurde.

`spy.call_other()` würde nicht `obj.other()` registrieren, wodurch es nicht möglich ist zu überprüfen ob `other()` nun aufgerufen wurde oder nicht. Das gleiche gilt für Mock, lediglich Methoden die auf dem Mock-Objekt aufgerufen werden, werden registriert. Aus diesem Grund ist es auch hier nicht optimal nutzbar für TDD.

2.2.3 Fuzz-testing Tools

Zusätzlich zu den hier behandelten Test runnern und den mocking Tools werden zusätzlich noch Fuzz-testing Tools behandelt. Unter Fuzz-testing versteht man das Testen eines Programms oder einem Modul mit zufälligen Werten. Diese Werte können komplett zufällig sein, aber auch einem gewissen Format entsprechen oder einem Typ.

Fuzz-testing funktioniert dabei anders als die gewohnten Methoden des Testens. Der Normale Flow ist, dass Test Daten präpariert werden, dann werden Tests mit diesen Daten aus geführt und danach validiert, dass das Ergebnis richtig ist. Mit Fuzz-testing sieht das ganze etwas anders aus, zuerst wird festgelegt, welchem Schema die Daten entsprechen müssen (Beispiel: Es wird eine IP erwartet, `[1-9]{1,3}.[1-9]{1,3}.[1-9]{1,3}.[1-9]{1,3}`), danach wird mit den Daten der Test ausgeführt und danach validiert (MacIver, 2019).

Der unterschied ist nun, das der Entwickler selbst sich nicht Daten ausdenken muss. Im genannten Beispiel müsste der Entwickler sich verschiedene IP Adressen ausdenken, die entweder richtig oder Falsch sind und danach diese überprüfen. Fuzz-testing übernimmt das ausdenken der Daten und sorgt dafür, dass diese der Spezifikation entsprechen. So kann eine viel größere Anzahl an Tests mit erheblich weniger aufwand auf einem Modul oder Programm ausgeführt werden.

Das ist aber noch nicht alles, schlägt ein Test fehl, mit Daten die per Spezifikation richtig sind, so wird der Wert der Daten für später gespeichert und sofern möglich wird versucht mit ähnlichen Daten dieser Fehler zu erreichen. Dadurch hat ein Entwickler am Ende der Tests Daten die fehlgeschlagen sind. Mit diesen kann er dann die Weiteren Tests befüllen um so zu verhindern, dass diese Daten zu Fehlern führen. Im Normalfall übernimmt dies allerdings das Tool, wodurch der Entwickler sich nur darum kümmern muss, dass die Tests erfolgreich verlaufen.

Von Zeit zu Zeit entsteht dadurch ein Katalog an Daten für verschiedene Tests, der vorgibt bei welchen Daten ein Test fehl geschlagen ist. Dadurch wird verhindert, dass beim ändern des Codes dieser Fehler wieder auftritt. Führt man dies über den gesamten Entwicklungsprozess hinweg durch, so erhält man am Ende ein sehr ausgiebig getestetes Programm.

Diese Methode des Testens ist auch „property based testing“, also Eigenschafts- basierte Tests genannt. In dieser Arbeit, wird allerdings weiterhin der Englische Begriff Fuzz-testing genutzt.

2.2.3.1 hypothesis

Das größte und am weitesten verbreitete Tool für Fuzz-testing mit Python ist hypothesis. Recherchen im Internet weisen auf kein weiteres aktuelles Tool hin, dass Open Source ist, demnach ist hypothesis das einzige Tool welches zum Fuzz-testing mit Python derzeit genutzt werden kann (Python 3.7).

Bevor man anfangen kann mit hypothesis zu testen, muss man verstehen wie hypothesis funktioniert. Möchte man Daten haben die einer Spezifikation entsprechen, benötigt man `hypothesis.strategies`. In hypothesis sind Strategien Spezifikationen für die Generierung von Daten. Wäre eine Spezifikation also, dass die Daten Integer sind, dann würde man `hypothesis.strategies.integers()` verwenden. Diese Strategie würde verschiedene Daten die Integer sind ausgeben. Möchte man nur Werte zwischen A und B, so wäre die Strategie `.integers(min_value=A, max_value=B)`. Dies kann man mit beliebig vielen Daten Typen und Spezifikationen durchführen, dabei verfügt hypothesis über so viele verschiedene Spezifikationen, dass es schwer sein wird alle zu kennen. Die Basics lassen sich allerdings in der [Dokumentation](#) ³⁵ finden.

Ist die Spezifikation bekannt und die Strategie gefunden werden Tests mithilfe einer Annotation der Test Funktion übergeben, diese Annotation nennt sich `hypothesis.given()`. Ein kleines Beispiel dazu kann in Listing 23 gefunden werden. `.given()` unterstützt dabei die `*args` als auch die `**kwargs` Übergabe der Strategien.

Hat man nun einen Fehler gefunden und möchte diesen für alle weiteren Tests testen, so kann man mit `hypothesis.example()` den Test annotieren und die Werte bei denen der Test fehl geschlagen ist dort übergeben. Alternativ übernimmt dies hypothesis durch das speichern des Wertes im Cache, allerdings kann dieser verloren gehen, oder durch umbenennen einer Funktion invalide werden. Um zu verhindern, dass der Cache von Entwickler zu Entwickler unterschiedlich ist, lässt sich der Cache in der VCS einbinden, dazu sollte alles in `.hypothesis/examples/` hinzu gefügt werden. Alle anderen Ordnern in `.hypothesis` sind nicht dafür ausgelegt in das VCS integriert zu werden, da sie zu Merge-Konflikten führen können.

Möchte der Entwickler etwas mehr Information darüber weshalb ein Test fehl geschlagen ist, so ist es Ihm möglich mit `hypothesis.note()` vor einer Assertion einen Text aus zu geben,

³⁵<https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/data.html>

der Ihm diese Informationen gibt. `note()` wird allerdings nur aus gegeben, wenn der Test fehl schlägt.

Möchte man ein paar Statistiken darüber was `hypothesis` gemacht hat und man nutzt `pytest` als Test runner, so kann man mit `--hypothesis-show-statistics` sich die Statistiken zu den Tests anschauen. Dabei werden folgende Informationen zu jeder Test Funktion gezeigt:

- Gesamte Anzahl der Durchläufe mit der Anzahl der fehlgeschlagenen und der Anzahl der invaliden Tests.
- Die ungefähre Laufzeit des Tests.
- Wie viel Prozent davon für die Datengenerierung aufgewendet wurde.
- Wieso der Test beendet wurde.
- Alle aufgetretenen Events von `hypothesis`

Ein Event kann allerdings auch vom Entwickler genau so wie `note()` genutzt werden, mit dem Unterschied, dass ein Event immer zu einem Output führt wenn die Zeile im Code ausgeführt wird (Sofern `pytest` und `--hypothesis-show-statistics` genutzt werden).

Mit diesem Wissen lässt sich `hypothesis` bereits für die einfachsten Dinge Nutzen, hat man allerdings etwas Spezifischere Anforderungen, so muss etwas tiefer in die Materie eingestiegen werden. Angenommen, eine Funktion soll mit einem Integer getestet werden, dieser muss aber durch sich selbst teilbar sein. Dies könnte mit einem `if` Statement geprüft werden, würde aber die Anzahl der relevanten Tests erheblich senken. Stattdessen ist es möglich auf Strategien filter an zu wenden. Filter müssen dabei Funktionen sein, die einen Wert filtern und Ihn zurück geben. Für das eben genannte Beispiel würde die Annotation dann so aussehen: `@given(integers().filter(lambda i: i % i == 0))`.

Gibt `hypothesis` einem Test Daten die nicht gefiltert werden können oder sollen, so ist es möglich mit `hypothesis.assume()` eine Annahme auf zu stellen. Ist die Annahme falsch, so wird dieser Test übersprungen. Allerdings kann dies zu Fällen führen bei denen `hypothesis` keine validen Daten finden kann, was zu einer Exception und zum fehlschlagen des Tests führt.

`hypothesis` verfügt noch über weit mehr Funktionalität als hier genannt werden kann, wie zum Beispiel das verketten von Strategien. Die Dokumentation zu allem, was `hypothesis` ohne Erweiterungen erschaffen kann, kann [online](https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/data.html)³⁶ eingesehen werden.

³⁶<https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/data.html>

Auch wenn die Standard Bibliothek von hypothesis bereits sehr viele Strategien enthält, so gibt es dennoch einiges was mithilfe von Erweiterungen dazu gewonnen werden kann. So werden von hypothesis selbst First-party Erweiterungen zur Verfügung gestellt. Dies dient vor allem dazu die Abhängigkeiten von der Standard Bibliothek so gering wie möglich zu halten (eine zusätzliche Abhängigkeit) und zum anderen um Kompatibilitätsprobleme zu verhindern. Aus diesem Grund können diese zusätzlichen Erweiterungen extra installiert werden, dazu finden sich in der Dokumentation drei Seiten, eine Generelle³⁷, eine für Django³⁸ und eine für Wissenschaftliche Module³⁹. Zusätzlich zu den First-party Erweiterungen, gibt es auch noch Erweiterungen der Community, eine kleine Liste dazu kann in der Dokumentation⁴⁰ gefunden werden oder durch das Explizite suchen einer Strategie im Internet.

Ein kleines Beispiel einer Anwendung von hypothesis war bereits in Listing 23 zu sehen, für weitere Beispiele kann in der Dokumentation unter "[Quick start guide](#)"⁴¹ und unter "[Some more examples](#)"⁴² nachgesehen werden.

Da hypothesis das derzeit einzige aktiv Entwickelte Open Source Tool ist, müssen Entwickler, die fuzz-testing-betreiben wollen auf dieses Tool zurück greifen. Doch das ist nichts Negatives, hypothesis bietet einem Entwickler alles um seine einzelnen Funktionen und Methoden auf Herz und Nieren zu testen. Selbstverständlich kommt es hier stets auf den Anwendungsfall an, denn nicht jede Funktion oder Methode lässt sich mit zufälligen Werten wirklich Effektiv testen, jedoch bietet hypothesis dort wo es sinnvoll ist alles um ausgiebig zu testen. Sollten die in der Standard Bibliothek enthaltenen Strategien nicht reichen, so bietet hypothesis mit seinen First-party Erweiterungen, Erweiterungen die zu 100% mit hypothesis Funktionieren. Dadurch ist die Standard Bibliothek besonders schlank.

hypothesis selbst lässt den Entwickler sehr schnell einsteigen, da nicht sonderlich viel Vorarbeit notwendig ist um hypothesis an zu wenden. Allerdings kommt mit den steigenden Anforderungen an die Daten auch die steigende Vorarbeit, die nötig ist um fuzz-testing-betreiben.

Die Komplexität von hypothesis ist allerdings sehr hoch, so viel wie hypothesis bietet, so komplex kann es auch werden es an zu wenden. Hat man spezielle Anforderungen abseits der Standard Werte wie int oder str ist mehr Arbeit und Verständnis Notwendig. Dies

³⁷<https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/extras.html>

³⁸<https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/django.html>

³⁹<https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/numpy.html>

⁴⁰<https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/strategies.html>

⁴¹<https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/quickstart.html>

⁴²<https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/examples.html>

kann schon mal dazu führen das man als Entwickler etwas Zeit investieren muss um die Spezifikationen auf eine Strategie an zu wenden. Je nach Komplexität der erforderlichen Daten ist es also leicht bis schwer hypothesis zu verwenden. Bei Komplexeren Anforderungen kann es auch dazu führen das der geschriebene Code unübersichtlich wird, wenn er nicht richtig dokumentiert wurde.

Auch wenn hypothesis als Erweiterung in dieser Arbeit behandelt wird, so bietet es selbst allerdings auch Erweiterungen für sich selbst. Dies liegt aber daran, dass man den Entwicklern nicht standardmäßig alle Funktionalität an die Hand gibt, die vermutlich gar nicht verwendet wird. Und auch wenn hypothesis über sehr viele Strategien verfügt, so hat die Community dennoch weitere Strategien entwickelt die zusätzlich genutzt werden können.

2.3 Zusammenfassung

Um einen schnellen gesamt Überblick zu schaffen, werden unter diesem Punkt die einzelnen Vor- und Nachteile der Tools noch einmal zusammengefasst. Dabei wird auf die in Kapitel [Python Test-Tools](#) genannten Aspekte referenziert.

Die Zusammenfassende Wertung wird mit einem Wert zwischen Eins und Zehn bestimmt, wobei Eins der schlechteste Wert ist und Zehn der Beste. Diese Wertung erfolgt aus den Analysen des jeweiligen Tools in den vorherigen Kapiteln. Um die Zusammenfassung besser zu gliedern werden die Tools nicht mehr zwischen STDLIB und externe Pakete unterschieden, sondern nach Funktionalität gegliedert (unit-, mock- und fuzz-testing Tools). Zu jeder Wertung erfolgt eine kleine Zusammenfassung der Analyse, um die Wertung nachvollziehbar zu gestalten.

2.3.1 Unit-testing Tools

2.3.1.1 unittest

- Anwendbarkeit (10/10):

unittest bietet dank dem submodul `unittest.mock` alles an Funktionalität um TDD einsetzen zu können. Da es in der STDLIB ist, werden keine externen Abhängigkeiten benötigt.

- Effizienz (7/10):

Die Vorarbeit, die benötigt ist um Testen zu können hält sich in grenzen. Jedoch

ist die Auswertung der Tests durch den Monochromen Output nicht sehr gut lesbar und bei vielen Fehlern unübersichtlich.

- Komplexität (8/10):

Die von unittest bereit gestellten assert Methoden bieten dem Entwickler eine Methode für jede mögliche Behauptung. Abseits davon bietet unittest viel Funktionalität zum aufsetzen einer Test Umgebung, wobei der geschriebene Code viel seiner Übersichtlichkeit bewahrt.

- Erweiterbarkeit (10/10):

Viele Tools basieren oder erweitern unittest, wodurch es möglich ist neue Funktionalität zu unittest hinzu zu fügen. Die Tools, die unittest erweitern bieten meist einen erheblichen Mehrwert weshalb hier 10 Punkte vergeben werden.

2.3.1.2 doctest

- Anwendbarkeit (3/10):

Doctest bietet für sich alleine nicht genug Funktionalität um TDD betreiben zu können.

- Effizienz (3/10):

Ein Entwickler der Python beherrscht, sollte keine Probleme haben doctest anwenden zu können. Der Code der allerdings abseits der Test benötigt wird kann sehr groß ausfallen, wenn Fixtures gewünscht sind. Auch der Output ist schnell unübersichtlich.

- Komplexität (1/10):

Abgesehen der Option Flags bietet unittest keine Funktionalität um Tests zu schreiben, der Entwickler kann sich hier lediglich der STDLIB oder allen anderen Paketen bedienen die importiert werden können.

- Erweiterbarkeit (5/10):

doctest selbst ist nicht erweiterbar, kann jedoch als Erweiterung für andere Test Tools genutzt werden. So wird von Haus aus eine unittest Integration bereit gestellt. Aus diesem Grund werden hier 5 Punkte vergeben, da das Einsatzgebiet von doctest eher als Erweiterung gesehen werden sollte und nicht als Tool für TDD.

2.3.1.3 pytest

- Anwendbarkeit (9/10):
pytest bietet alles um TDD betreiben zu können, lediglich die der Fakt, dass es ein Externes Paket mit Sechs Abhängigkeiten ist gibt einen Punkt Abzug.
- Effizienz (10/10):
Der Einstieg in pytest erfolgt ohne Probleme und große Vorarbeit. Der Output ist gegliedert und in Farbe, wodurch er leicht zu lesen und zu verstehen ist.
- Komplexität (10/10):
Durch die umfassenden Features von pytest ist es dem Entwickler möglich viel aus seinen Tests heraus zu holen ohne neue Konstrukte lernen zu müssen. Der dabei entstehende Code bewahrt auch bei viel Code ein gewisses Maß an Lesbarkeit.
- Erweiterbarkeit (10/10):
Die 618 (Stand 2. April 2019) verfügbaren Erweiterung rechtfertigen die Zehn erhaltenen Punkte.

2.3.2 Mock-testing Tools

2.3.2.1 stubble

- Anwendbarkeit (9/10):
Die Funktionalität, die zum stubben benötigt wird ist mit stubble fast komplett gegeben und die Abhängigkeiten belaufen sich auf nur Eine.
- Effizienz (10/10):
Vorarbeit und viel Code werden mit stubble nicht benötigt.
- Komplexität (7/10):
stubble bietet lediglich die Möglichkeit Objekte zu ersetzen, jedoch nicht mehr. Die Vorgefertigten Stubs sind allerdings sehr nützlich. Da, keine mocking Funktionalität geboten wird gibt es hier Punktabzug.

2.3.2.2 mocktest

- Anwendbarkeit (9/10):
mocktest bietet seinem Nutzer alles um Objekte zu mocken oder zu stuben. Zusätzlich erweitert mocktest unittest wodurch es möglich ist Test Umgebungen zu erschaffen. Zusätzlich zu sich selbst wird Eine Abhängigkeit benötigt, für die es einen Punkt Abzug gibt.
- Effizienz (10/10):
Da mocktest deskriptiv ist, kann es ohne großen Aufwand verwendet werden. Der Code der dazu benötigt wird beschränkt sich auf ein Minimum.
- Komplexität (10/10):
An Funktionalität fehlt es dem Tool nicht.

2.3.2.3 flexmock

- Anwendbarkeit (9/10):
Im Bezug zu TDD wird dem Anwender fast alles geboten, was benötigt wird und das mit nur einer Abhängigkeit, das Paket selbst.
- Effizienz (10/10):
Die Anwendung von flexmock ist deskriptiv, weshalb es für einen ohne größere Vorkenntnisse anwendbar ist. Der dabei zu schreibende Code ist Minimal.
- Komplexität (9/10):
Das Interface von flexmock ermöglicht sauberen und übersichtlichen Code zu schreiben und bietet dabei einiges an Funktionalität um zu mocken und zu stuben. Punktabzug gab es für die fehlende Möglichkeit nicht existierende Funktionen und Methoden zu erstellen.

2.3.2.4 doublex

- Anwendbarkeit (X/10):
TBD.
- Effizienz (X/10):
TBD.

- Komplexität (X/10):
TBD.

2.3.3 Fuzz-testing Tools

2.3.3.1 hypothesis

- Anwendbarkeit (X/10):
TBD.
- Effizienz (X/10):
TBD.
- Komplexität (X/10):
TBD.
- Erweiterbarkeit (X/10):
TBD.

2.4 Vergleich der Tools

Die in Kapitel 2.3 aufgeführten Vor- und Nachteile werden hier untereinander verglichen. Wodurch eine Ausführung entstehen soll welches Tool am besten für Welchen Zweck geeignet ist.

2.5 Kombinierung von Tools

Sofern dies möglich ist werden hier mögliche Kombinationen von Tools diskutiert.

3 Diskussion: Test-driven development in der Praxis

Hier wird die Einleitung der Diskussion stehen.

3.1 Stärken von Test-driven development

Hier soll eine Diskussion der Schwächen von TDD entstehen.

3.2 Schwächen von Test-driven development

Dieses Kapitel soll die Schwächen von TDD Diskutieren, dabei wird in [Vermeidbare Schwächen](#) beschrieben welche dieser Schwächen umgangen werden können und in [Unumgängliche Schwächen](#) werden jene Schwächen die nicht vermeidbar sind analysiert.

3.2.1 Vermeidbare Schwächen

Vermeidbare Schwächen

3.2.2 Unumgängliche Schwächen

Unumgängliche Schwächen

3.3 Wirtschaftlichen Aspekte von Test-driven development

Dieses Kapitel befasst sich mit den möglichen Wirtschaftlichen folgen, die die Anwendung von TDD mit sich bringt.

3.4 Zusammenfassung

Hier wird die gesamte Diskussion zusammengefasst um danach im [Fazit](#) eine Fundierte Meinung wieder zu geben.

4 Fazit

FAZIT

5 Nachwort

Nachwort

Literaturverzeichnis

- Alises, D. V. (2014). doublex - doublex 1.8.1 documentation. Website. Online erhältlich unter <https://python-doublex.readthedocs.io/en/latest/>; abgerufen am 23. April 2019.
- Beck, K. (2002). *Test Driven Development: By Example*. Addison-Wesley Professional.
- Brandl, G., van Rossum, G., Heimes, C., Peterson, B., Melotti, E., Murray, R., ... Miss Islington (bot). (2007). *doctest — Test interactive Python examples*. Website. Online erhältlich unter <https://github.com/python/cpython/blob/3.7/Doc/library/doctest.rst> oder <https://docs.python.org/3/library/doctest.html>; abgerufen am 25. März 2019.
- Brandl, G., van Rossum, G., Heimes, C., Peterson, B., Pitrou, A., Dickinson, M., ... Palard, J. (2007). *unittest — Unit testing framework*. Website. Online erhältlich unter <https://github.com/python/cpython/blob/3.7/Doc/library/unittest.rst> oder <https://docs.python.org/3/library/unittest.html>; abgerufen am 25. März 2019.
- Cuthbertson, T. (2018). About mocktest - mocktest 0.7.2 documentation. Website. Online erhältlich unter <http://gfxmonk.net/dist/doc/mocktest/doc/>; abgerufen am 16. April 2019.
- Foord, M., Melotti, E., Coghlan, N., Storchaka, S., Peterson, B., Huang, H. & Wijaya, M. (2012). PEP 417 – Including mock in the Standard Library. Website. Online erhältlich unter <https://github.com/python/peps/blob/master/pep-0417.txt> oder <https://www.python.org/dev/peps/pep-0417/>; abgerufen am 26. Januar 2019.
- Kabrda, S. & Sheremetyev, H. (2019). flexmock - Testing Library – flexmock 0.10.3 documentation. Website. Online erhältlich unter <https://flexmock.readthedocs.io/en/0.10.3/>; abgerufen am 22. April 2019.
- Krekel, H. & pytest-dev team. (2019). pytest Documentation - Release 4.4. PDF. Online erhältlich unter <https://media.readthedocs.org/pdf/pytest/4.4.0/pytest.pdf>; abgerufen am 2. April 2019.
- MacIver, D. R. (2019). Welcome to Hypothesis! — Hypothesis 4.18.0 documentation. Website. Online erhältlich unter <https://hypothesis.readthedocs.io/en/latest/>; abgerufen am 29. April 2019.
- Muthukadan, B., jtatum, CPE0014bf07ffd2-CM001ac30d4aca, 71-35-143-156, gjb1002, little-black-box, ... Barnes, S. (2011). PythonTestingToolsTaxonomy. Website. Online erhältlich unter <https://wiki.python.org/moin/PythonTestingToolsTaxonomy>; abgerufen am 14. März 2019.
- Schobelt, F. (2017). Weltweite Smartphone-Verbreitung steigt 2018 auf 66 Prozent. Online erhältlich unter https://www.wuv.de/digital/weltweite_smartphone_verbreitung_steigt_2018_auf_66_prozent; abgerufen am 25. Januar 2019.
- Vosloo, I., Sparks, C. & Nagel, P. (2018). Stubble – A collection of tools for writing stubs in unit tests (reahl.stubble). Website. Online erhältlich unter <https://www.reahl.org/docs/4.0/devtools/stubble.d.html>; abgerufen am 15. April 2019.

Listings

```

1  """my_module.py"""
2  from sqlalchemy import (
3      Column,
4      Integer,
5      String,
6      create_engine,
7  )
8  from sqlalchemy.orm import sessionmaker
9  from sqlalchemy.ext.declarative import declarative_base
10
11 engine = create_engine('sqlite:///memory:')
12 Session = sessionmaker(bind=engine)
13 session = Session()
14 Base = declarative_base()
15
16 do_something_which_does_not_exist = None
17
18
19 def my_pow(a, b):
20     result = a
21     for _ in range(1, b):
22         result = result * a
23
24     return result
25
26
27 class Item(Base):
28     __tablename__ = 'items'
29
30     id_ = Column('id', Integer, primary_key=True)
31     name = Column(String(64))
32     storage_location = Column(Integer)
33     amount = Column(Integer)
34
35     def do_something(self):
36         return do_something_which_does_not_exist(self)
37
38     def __repr__(self):
39         return f'item<{self.id_}, {self.name}, {self.storage_location}, {self.amount}>'
40
41
42 Base.metadata.create_all(engine)

```

Listing 1: Basis Modul zum testen

```

1  import os
2
3
4  class Helper:
5      """Diese Klasse simuliert eine Klasse die noch nicht geschrieben wurde"""
6      pass

```

```
7
8
9 class NotMocked:
10     """ Originale Klasse.
11         Die Methodennamen geben an was sie eigentlich machen sollten
12         """
13     def print_foo(self):
14         print("I should print foo, instead I print this!")
15
16     def return_42(self):
17         return 21
18
19     def raise_error(self):
20         return
21
22     def _internal_function(self):
23         return
24
25     def call_internal_function(self):
26         self._internal_function()
27
28     def call_internal_function_n_times(self, n):
29         for _ in range(0, n):
30             self._internal_function()
31
32     def call_helper_help(self, h: Helper):
33         assert isinstance(h, Helper)
34         assert h.help() is True
35
36     def return_false_filepath(self):
37         """ Diese Methode soll /foo/bar/baz.py zurueckgeben """
38         return os.path.abspath(__file__)
```

Listing 2: Basis Modul zum testen von mocks

```
1 import unittest
2
3 from my_package.my_module import my_pow
4
5
6 class TestMyModule(unittest.TestCase):
7     def test_my_pow(self):
8         self.assertEqual(my_pow(2, 2), 4)
9         self.assertEqual(my_pow(4, 8), pow(4, 8))
10
11
12 if __name__ == '__main__':
13     unittest.main()
```

Listing 3: unittest einfaches Beispiel

```
1 .
2
3 Ran 1 test in 0.000s
4
5 OK
```

Listing 4: unittest einfaches Beispiel: Output erfolgreich

```
1 F
2
3 FAIL: test_my_pow (unittest_ .example.TestMyModule)
4
5 Traceback (most recent call last):
6   File "unittest_/example.py", line 9, in test_my_pow
7     self.assertEqual(my_pow(4, 7), pow(4, 8))
8 AssertionError: 16384 != 65536
9
10
11 Ran 1 test in 0.000s
12
13 FAILED (failures=1)
```

Listing 5: unittest einfaches Beispiel: Output misslungen


```
1 import unittest
2 import unittest.mock as mock
3
4 from my_package.my_module import (
5     Item,
6     Session
7 )
8
9 class TestMyDatabase(unittest.TestCase):
10     def setUp(self):
11         self.session = Session()
12         self.item = Item(id_=1, name='name', storage_location=7, amount=3)
13
14     def test_creation(self):
15         self.session.add(self.item)
16         self.session.commit()
17
18         self.assertIs(len(session.new), 0)
19         self.assertEqual(session.query(Item).first(), self.item)
20
21     @mock.patch('my_package.my_module.do_something_which_does_not_exist')
22     def test_external_function(self, mock_do_something_which_does_not_exist):
23         mock_do_something_which_does_not_exist.return_value = 42
24
25
26         self.assertIs(self.item.do_something(), 42)
27         mock_do_something_which_does_not_exist.assert_called_with(self.item)
28
29     def tearDown(self):
30         self.session.close()
31
32 if __name__ == '__main__':
33     unittest.main()
```

Listing 6: unittest my_module

```

1 import random
2
3 def return_3(s=None, i=None):
4     """
5     >>> return_3(s=True)
6     '3'
7
8     >>> return_3(i=True)
9     3
10
11    >>> return_3(i=True)
12    '4'
13    """
14    if s:
15        return '3'
16    elif i:
17        return 3
18
19
20 if __name__ == '__main__':
21     import doctest
22     doctest.testmod()

```

Listing 7: doctest unterscheidet Typen

```

1 *****
2 File "example.py", line 14, in __main__.return_3
3 Failed example:
4     return_3(i=True)
5 Expected:
6     '4'
7 Got:
8     3
9 *****
10 1 items had failures:
11   1 of   3 in __main__.return_3
12 ***Test Failed*** 1 failures.

```

Listing 8: doctest unterscheidet Typen: Output

```

1 Trying:
2     from advanced import *
3 Expecting nothing
4 ok
5 Trying:
6     my_pow(2, 2)
7 Expecting:
8     4
9 ok

```

Listing 9: doctest verbose Output

```

1 def my_pow(a, b):
2     """
3     >>> my_pow(2, 2)
4     4
5     >>> my_pow(4, 8)
6     65536
7     """
8     result = a
9     for _ in range(1, b):
10         result = result * a
11
12     return result
13
14
15 class Item(Base):
16     """
17     Da Doctest keine Fixtures unterstuetzt muss hier der setUp Code stehen:
18     >>> Base.metadata.create_all(engine)
19     >>> item = Item(id_=1, name='name', storage_location=1, amount=1)
20     >>> session = Session()
21     >>> session.add(item)
22     >>> session.commit()
23
24
25     Check ob das item committed wurde
26     >>> len(session.new)
27     0
28
29     Check ob das item in der Datenbank ist.
30     Das item wird mit seiner __repr__() Methode repräsentiert, da die
31     Werte bekannt sind kann ueberprueft werden ob diese uebereinstimmen.
32     >>> session.query(Item).first()
33     item<1, name, 1, 1>
34
35     do_something existiert nicht, da mit Doctest kein Mock erstellt werden
36     kann wird auf die Exception ueberprueft.
37     >>> item.do_something()
38     Traceback (most recent call last):
39     ...
40     TypeError: 'NoneType' object is not callable
41
42     Hier wird der tearDown Code ausgefuehrt
43     >>> session.close()
44     """
45     __tablename__ = 'items'
46
47     id_ = Column('id', Integer, primary_key=True)
48     name = Column(String(64))
49     storage_location = Column(Integer)
50     amount = Column(Integer)
51
52     def do_something(self):

```

```

53         return do_something_which_does_not_exist(self)
54
55     def __repr__(self):
56         return f'item<{self.id_}, {self.name}, {self.storage_location}, {self.amount}>'
57
58 if __name__ == '__main__':
59     import doctest
60     # Fuehrt die internen Tests aus
61     doctest.testmod()
62     # Fuehrt die externen Tests aus
63     doctest.testfile('advanced.txt')

```

Listing 10: doctest: my_module

```

1 In dieser Datei stehen alle Docstrings ausgelagert
2
3 Um my_module zu testen muss alles importiert werden.
4 >>> from my_module import *
5 >>> my_pow(2, 2)
6 4
7 >>> my_pow(4, 8)
8 65536
9
10
11 Da Doctest keine Fixtures unterstuetzt muss hier der setUp Code stehen:
12 >>> Base.metadata.create_all(engine)
13 >>> item = Item(id_=1, name='name', storage_location=1, amount=1)
14 >>> session = Session()
15 >>> session.add(item)
16 >>> session.commit()
17
18
19 Check ob das item committed wurde
20 >>> len(session.new)
21 0
22
23 Check ob das item in der Datenbank ist.
24 Das item wird mit seiner __repr__() Methode representiert, da die
25 Werte bekannt sind kann ueberprueft werden ob diese uebereinstimmen.
26 >>> session.query(Item).first()
27 item<1, name, 1, 1>
28
29 do_something existiert nicht, da mit Doctest kein Mock erstellt werden kann
30 wird auf die Exception ueberprueft.
31 >>> item.do_something()
32 Traceback (most recent call last):
33 ...
34 TypeError: 'NoneType' object is not callable
35
36 Hier wird der tearDown Code ausgefuehrt
37 >>> session.close()

```

Listing 11: doctest my_module: Textdatei

```

1 # Aufruf mit py.test -q -s <dateiname>
2 import pytest
3
4 @pytest.fixture
5 def setup_teardown():
6     print ("setup")
7     yield 1
8     print ("\ntearDown")
9
10 def test_setup_teardown(setup_teardown):
11     assert setup_teardown == 1

```

Listing 12: pytest setUp und tearDown

```

1 setup
2 .
3 tearDown
4
5 1 passed in 0.00 seconds

```

Listing 13: pytest setUp und tearDown Output

```

1 import pytest
2
3 from my_package.my_module import (
4     Item,
5     session,
6 )
7
8 class TestMyDatabase:
9     @pytest.fixture
10     def setUp_tearDown(self):
11         # setUp
12         self.item = Item(id_=1, name='name', storage_location=7, amount=3)
13         yield self.item
14         # tearDown
15         session.close()
16
17     def test_creation(self, setUp_tearDown):
18         session.add(self.item)
19         session.commit()
20
21         assert len(session.new) is 0, 'Lenght is not 0, session is dirty'
22         assert session.query(Item).first() is self.item, 'Item is not in databse'
23
24     def test_external_function(self, setUp_tearDown, monkeypatch):
25         def mock_return(something):
26             return 42
27
28         monkeypatch.setattr(Item, 'do_something', mock_return)
29         assert self.item.do_something() is 42, 'Do something wasn\'t patched'
30
31

```

```

32 if __name__ == '__main__':
33     pytest.main()

```

Listing 14: pytest my_module

```

1 ===== test session starts =====
2 platform linux -- Python 3.7.3, pytest-4.4.0, py-1.8.0, pluggy-0.9.0
3 rootdir: /this/is/my/secret/path
4 collected 2 items
5
6 pytest_my_module.py ..                                     [100%]
7
8 ===== 2 passed in 0.11 seconds =====

```

Listing 15: pytest my_module: Output

```

1 atomicwrites==1.3.0
2 attrs==19.1.0
3 more-itertools==7.0.0
4 pluggy==0.9.0
5 py==1.8.0
6 pytest==4.4.0
7 six==1.12.0

```

Listing 16: pytest Abhängigkeiten

```

1 from reahl.stubble import Impostor, stubclass
2
3
4 class Original:
5     pass
6
7
8 @stubclass(Original)
9 class Fake(Impostor):
10     pass
11
12
13 fake = Fake()
14 assert isinstance(fake, Original) # True

```

Listing 17: stubble: Impostor

```

1 import unittest
2 from reahl.stubble import (
3     exempt,
4     replaced,
5     stubclass,
6 )
7 from reahl.stubble.intercept import (
8     CallMonitor,
9     SystemOutStub,
10 )
11

```

```
12 from my_package.my_mock_module import (
13     NotMocked,
14     Helper,
15 )
16
17 @stubclass(NotMocked)
18 class Mocked(NotMocked):
19     def print_foo(self):
20         print("foo")
21
22     def return_42(self):
23         return 42
24
25     def raise_error(self):
26         raise BaseException("success")
27
28
29 @stubclass(Helper)
30 class MockedHelper(Helper):
31     @exempt
32     def help(self):
33         """Loest das Problem zwar, aber wenn die Funktion existiert wird nicht
34         die signatur ueberprueft.
35         """
36         return True
37
38
39 class TestStubble(unittest.TestCase):
40     def setUp(self):
41         self.mock = Mocked()
42
43     def test_print_foo(self):
44         with SystemOutStub() as monitor:
45             self.mock.print_foo()
46
47             assert monitor.captured_output == 'foo\n'
48
49     def test_return_42(self):
50         self.assertEqual(self.mock.return_42(), 42)
51
52     def test_raise_error(self):
53         self.assertRaises(BaseException, self.mock.raise_error)
54
55     def test_call_internal_function(self):
56         with CallMonitor(self.mock._internal_function) as monitor:
57             self.mock.call_internal_function()
58
59             self.assertIs(monitor.times_called, 1)
60             self.assertEqual(monitor.calls[0].args, ())
61             self.assertEqual(monitor.calls[0].kwargs, {})
62             self.assertIs(monitor.calls[0].return_value, None)
63
```

```

64     def test_call_internal_function_n_times(self):
65         with CallMonitor(self.mock._internal_function) as monitor:
66             self.mock.call_internal_function_n_times(4)
67
68             self.assertIs(monitor.times_called, 4)
69             self.assertEqual(monitor.calls[0].args, ())
70             self.assertEqual(monitor.calls[0].kwargs, {})
71             self.assertIs(monitor.calls[0].return_value, None)
72
73     def test_call_helper_help(self):
74         helper = MockedHelper()
75         with CallMonitor(helper.help) as monitor:
76             self.mock.call_helper_help(helper)
77
78             self.assertIs(monitor.times_called, 1)
79             self.assertEqual(monitor.calls[0].args, ())
80             self.assertEqual(monitor.calls[0].kwargs, {})
81             self.assertIs(monitor.calls[0].return_value, True)
82
83     def fake_os_path_abspath(self, path):
84         return "/foo/bar/baz.py"
85
86     def test_return_false_filepath(self):
87         from my_package.my_mock_module import os as my_os
88         with replaced(my_os.path.abspath, self.fake_os_path_abspath, on=my_os.path):
89             self.assertEqual("/foo/bar/baz.py", self.mock.return_false_filepath())
90             self.assertNotEqual("/foo/bar/baz.py", self.mock.return_false_filepath())
91
92
93 if __name__ == '__main__':
94     unittest.main()

```

Listing 18: stubble my_mock_module lastline

```

1 import sys
2 from mocktest import *
3
4 from my_package.my_mock_module import (
5     NotMocked,
6     Helper,
7 )
8
9
10 class TestMocktest(TestCase):
11     def setUp(self):
12         self.not_mocked = NotMocked()
13
14     def test_print_foo(self):
15         expect(self.not_mocked).print_foo().then_return(lambda: print('foo'))
16         self.not_mocked.print_foo()
17
18         self.assertEqual(sys.stdout.getvalue(), 'foo\n')
19

```



```

20     def test_return_42(self):
21         when(self.not_mocked).return_42().then_return(42)
22         self.assertEqual(self.not_mocked.return_42(), 42)
23
24
25     def test_raise_error(self):
26         def raise_error():
27             raise BaseException('success')
28
29         modify(self.not_mocked).raise_error = raise_error
30         self.assertRaises(BaseException, self.not_mocked.raise_error,
31                           message='success', matching=r'.*')
32
33     def test_call_internal_function(self):
34         expect(self.not_mocked)._internal_function.once()
35         self.not_mocked.call_internal_function()
36
37     def test_call_internal_function_n_times(self):
38         expect(self.not_mocked)._internal_function.thrice()
39         self.not_mocked.call_internal_function_n_times(3)
40
41     def test_call_helper_help(self):
42         helper = Helper()
43         when(helper).help.then_return(True).once()
44         self.not_mocked.call_helper_help(helper)
45
46     def test_return_false_filepath(self):
47         import os
48         when(os.path).abspath.then_return('/foo/bar/baz.py')
49         self.assertEqual('/foo/bar/baz.py', self.not_mocked.return_false_filepath())
50
51
52 if __name__ == '__main__':
53     import unittest
54     unittest.main(buffer=True)

```

Listing 19: mocktest my_mock_module

```

1 import sys
2 import unittest
3 import flexmock
4
5 from my_package.my_mock_module import (
6     NotMocked,
7     Helper,
8 )
9
10
11 class TestFlexmock(unittest.TestCase):
12     def setUp(self):
13         self.mock = flexmock(NotMocked)
14         self.not_mocked = NotMocked()
15

```

```

16     def test_print_foo(self):
17         self.mock.should_receive('print_foo').replace_with(lambda: print('foo'))
18         self.not_mocked.print_foo() # print_foo wurde ersetzt
19
20         self.assertEqual(sys.stdout.getvalue(), 'foo\n')
21
22     def test_return_42(self):
23         self.mock.should_receive('return_42').and_return(42)
24         self.assertIs(42, self.not_mocked.return_42()) # returned jetzt immer 42
25
26     def test_raise_error(self):
27         self.mock.should_receive('raise_error').and_raise(BaseException, 'success')
28         self.assertRaises(BaseException, self.not_mocked.raise_error)
29
30     def test_call_internal_function(self):
31         self.mock.should_call('_internal_function').once()
32         self.not_mocked.call_internal_function()
33
34     def test_call_internal_function_n_times(self):
35         self.mock.should_call('_internal_function').times(3)
36         self.not_mocked.call_internal_function_n_times(3)
37
38     def test_call_helper_help(self):
39         helper_mock = flexmock(Helper())
40         helper_mock.should_receive('help').replace_with(lambda: True)
41         helper_mock.should_call('help').once() # Check ob help aufgerufen wurde
42
43         self.not_mocked.call_helper_help(helper_mock)
44
45     def test_return_false_filepath(self):
46         import os
47         new_os = flexmock(os)
48         new_os.should_receive('path.abspath').and_return('/foo/bar/baz.py')
49         self.assertEqual(self.not_mocked.return_false_filepath(), '/foo/bar/baz.py')
50
51
52 if __name__ == '__main__':
53     unittest.main(buffer=True)

```

Listing 20: flexmock my_mock_module

```

1 E.....
2 =====
3 ERROR: test_call_helper_help (__main__.TestFlexmock)
4 =====
5 Traceback (most recent call last):
6   File "example.py", line 40, in test_call_helper_help
7     helper_mock.should_receive('help').replace_with(lambda: True)
8   File "flexmock_/venv/lib/python3.7/site-packages/flexmock.py", line 731,
9     in should_receive
10     _ensure_object_has_named_attribute(obj, name)
11   File "flexmock_/venv/lib/python3.7/site-packages/flexmock.py", line 1150,
12     in _ensure_object_has_named_attribute

```

```
13     raise FlexmockError(exc_msg)
14 flexmock.FlexmockError: <my_package.my_mock_module.Helper object at
15     0x7f0e0c18a6a0> does not have attribute help
16
17
18 Ran 7 tests in 0.002s
19
20 FAILED (errors=1)
```

Listing 21: flexmock exception

```
1 import sys
2 import unittest
3
4 from doublex import (
5     Stub,
6     Spy,
7     ProxySpy,
8     assert_that,
9     is_,
10    called,
11 )
12
13
14 from my_package.my_mock_module import (
15     NotMocked,
16     Helper,
17 )
18
19
20 class TestFlexmock(unittest.TestCase):
21     def setUp(self):
22         pass
23
24     def test_print_foo(self):
25         with Stub(NotMocked) as stub:
26             stub.print_foo().delegates(lambda: print('foo'))
27             stub.print_foo() # Das Duplikat kann nun print_foo()
28             self.assertEqual(sys.stdout.getvalue(), 'foo\n')
29
30     def test_return_42(self):
31         with Stub(NotMocked) as stub:
32             stub.return_42().returns(42)
33
34             assert_that(stub.return_42(), is_(42))
35
36     def test_raise_error(self):
37         with Stub(NotMocked) as stub:
38             stub.raise_error().raises(BaseException('success'))
39
40             self.assertRaises(BaseException, stub.raise_error)
41
42     def test_call_internal_function(self):
```

```

43     spy = ProxySpy(NotMocked())
44
45     spy.call_internal_function()
46     assert_that(spy._internal_function, called())
47     '''
48     Das ist mit doublex nicht moeglich, der Error ist folgender:
49
50     Expected: these calls:
51         NotMocked._internal_function(ANY_ARG)
52     but: calls that actually occurred were:
53         NotMocked.call_internal_function()
54     '''
55
56
57     def test_call_internal_function_n_times(self):
58         pass
59         '''
60         Hier kommt der gleiche Fehler wie bei test_call_internal_function
61         '''
62
63     def test_call_helper_help(self):
64         with Stub() as helper:
65             helper.help().returns(True)
66
67         self.assertTrue(NotMocked().call_helper_help(helper))
68         '''
69         Dieser Test wird auch fehlschlagen, da es nicht moeglich ist vor zu
70         tauschen eine Klasse zu sein. Ein doublex Objekt ist immer ein
71         Duplikat aber niemals die Klasse selbst.
72         '''
73
74     def test_return_false_filepath(self):
75         with Stub(NotMocked) as stub:
76             stub.return_false_filepath().returns('/foo/bar/baz.py')
77
78         assert_that(stub.return_false_filepath(), is_('/foo/bar/baz.py'))
79         '''
80         Es ist mit doublex leider nicht moeglich globale Objekte oder Module
81         zu ersetzen. Lediglich ein Duplikat koennte als parameter uebergeben
82         werden.
83         '''
84
85
86 if __name__ == '__main__':
87     unittest.main(buffer=True)

```

Listing 22: python-doublex my_mock_module

```

1 from hypothesis import given
2 from hypothesis.strategies import integers
3
4
5 @given(integers())

```

```
6 def test_int(i):  
7     assert (i + i) == (i * 2)  
8  
9  
10 if __name__ == '__main__':  
11     test_int()
```

Listing 23: hypothesis @given() Beispiel

Eidesstattliche Erklärung

Eidesstattliche Erklärung zur Abschlussarbeit

Hiermit versichere ich, die eingereichte Abschlussarbeit selbständig verfasst und keine andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben. Wörtlich oder inhaltlich verwendete Quellen wurden entsprechend den anerkannten Regeln wissenschaftlichen Arbeitens zitiert. Ich erkläre weiterhin, dass die vorliegende Arbeit noch nicht anderweitig als Abschlussarbeit eingereicht wurde.

Das Merkblatt zum Täuschungsverbot im Prüfungsverfahren der Hochschule Augsburg habe ich gelesen und zur Kenntnis genommen. Ich versichere, dass die von mir abgegebene Arbeit keinerlei Plagiate, Texte oder Bilder umfasst, die durch von mir beauftragte Dritte erstellt wurden.

Unterschrift :

Ort, Datum :