



Hochschule Bremen
Fakultät für Elektrotechnik und Informatik

Untersuchung und Evaluierung der Möglichkeiten für die Realisierung automatisierter Tests für AngularJS-Webanwendungen

Bachelorthesis
zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science (B. Sc.)
im Dualen Studiengang Informatik

Autor	Nikolas Schreck <nikolasschreck@gmail.com>
Version vom:	28. Mai 2017
Erstprüfer	Prof. Dr.-Ing. Heide-Rose Vatterrott
Zweitprüfer	Dipl.-Inf. Jochen Schwitzing

Sperrvermerk

Die vorliegende Prüfungsarbeit enthält vertrauliche Daten der Commerz Systems GmbH, die der Geheimhaltung unterliegen. Die Prüfungsarbeit wird an der Hochschule Bremen ausschließlich solchen Personen zugänglich gemacht, die mit der Abwicklung des Prüfungsverfahrens betraut sind und zur Verschwiegenheit verpflichtet sind. Es wird darauf hingewiesen, dass, sofern der Verfasser die Bewertung seiner Arbeit angreift, die Arbeit gegebenenfalls dem Widerspruchsausschuss zugeleitet werden muss, wobei die Mitglieder des Widerspruchsausschusses zur Verschwiegenheit verpflichtet sind. Wird die Bewertung der Arbeit gerichtlich angegriffen, so ist die Arbeit als Teil des Verwaltungsvorgangs dem Gericht zu übermitteln. Veröffentlichung und Vervielfältigung der vorliegenden Prüfungsarbeit – auch nur auszugsweise und gleich in welcher Form – bedürfen der schriftlichen Genehmigung der Commerz Systems GmbH.

Lorem ipsum dolorem sit amet.

NIKOLAS SCHRECK

Abstract

In dieser Bachelor-Thesi

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	8
Listingverzeichnis	9
1 Motivation	10
2 Grundlagen	11
2.1 Test	11
2.1.1 Komponententest	11
2.1.2 Integrationstest	12
2.1.3 Systemtest	13
2.2 AngularJS	14
2.2.1 Architektur	14
2.2.2 Two-Way-Databinding	15
2.2.3 Scopes	16
2.2.4 Dependency Injection	16
2.3 Node.js	18
2.3.1 Laufzeitumgebung	18
2.3.2 Node Package Manager (npm)	18
3 Auswahl von Testsoftware	21
3.1 Anforderungsanalyse	21
3.2 Softwarerecherche	23
3.2.1 Karma	23
3.2.2 Mocha	24
3.2.3 AVA	25
3.2.4 QUnit	26
3.2.5 Intern	27
3.2.6 Jasmine	29
3.2.7 Chai	30
3.2.8 Protractor	31
3.2.9 PhantomJS	33
3.2.10 CasperJS	34
3.2.11 Sinon	35
3.2.12 ngMock	36
3.2.13 Istanbul	37
3.3 Auswahlentscheidung	39
4 Evaluierung	41
4.1 Projektumfeld	41
4.2 Implementierung	41
4.3 Auswertung	41
5 Ausblick	42
5.1 Einsatz von automatisierten Test im Commerzbank-Konzern	42
5.2 Mögliche Verbesserungen durch Einsatz von Angular2	42
5.3 Fazit	42

Literaturverzeichnis	43
Stichwortverzeichnis	48
Anhang	49
Eidesstattliche Erklärung	49

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1	Entscheidungsmatrix zur Softwareauswahl	40
---	---	----

Listingverzeichnis

1	Beispiel eines AngularJS-Templates, adaptiert nach [BT14]	15
2	Beispielhafter AngularJS-Controller, adaptiert nach [Goo17d]	15
3	Beispielhafter AngularJS-Controller mit Dependency Injection, adaptiert nach [Goo17e]	17
4	Beispiel einer package.json	19
5	Beispiel von Skripten in einer package.json (aus [Cir14])	20
6	Beispiel der Watch-Funktionalität in einer package.json (aus [Cir14], angepasst durch den Autor)	20
7	Beispiel einer karma.conf.js (adaptiert nach [Kar17a; Kar17b])	24
8	Beispiel eines Tests mit dem BDD-Stil in Mocha (adaptiert nach [Moc17])	25
9	Beispiel eines Tests mit AVA (adaptiert nach [Sor+17])	26
10	Beispiel mehrerer Tests für QUnit (adaptiert nach [The17a])	27
11	Beispiel einer Testsuite in Intern (aus [Int17])	27
12	Beispiel einer Testsuite in Intern (aus [Int17])	28
13	Beispiel eines End-To-End-Tests in Intern (aus [Int17])	29
14	Beispiel einer Jasmine-Testsuite (adaptiert nach [Jas17b])	30
15	Beispiel von Assertions mit dem expect-Stil von Chai (aus [Cha17b])	31
16	Beispiel einer Protractor-Konfiguration (adaptiert nach [Pro17c])	32
17	Beispiel einer Spec für Protractor (aus [Pro17c])	32
18	Beispiel eines Seitenaufrufs mit PhantomJS (aus [Hid17d])	34
19	Beispiel eines Navigationsszenarios mit CasperJS (adaptiert nach [Per+17a])	34
20	Beispiel eines Tests mit CasperJS (aus [Per+17c])	35
21	Beispiel eines anonymen Spy in Sinon (aus [Sin17c])	35
22	Beispiel eines Mocks in Sinon (aus [Sin17a])	36
23	Beispiel eines Tests mit injizierten Abhängigkeiten mit ngMock (adaptiert nach [Wat15])	37

1 Motivation

Die Commerzbank AG ist Deutschlands zweitgrößtes Finanzinstitut[Sta14, S. 2]. Als solches stellen sich für ihre IT besondere Herausforderungen an Daten-, Ausfallsicherheit und Stabilität. Regulatorische Vorgaben durch die BaFin[Bun16], interne Programmierrichtlinien[Com17a; Com17b], das Book of Standards [Com16] und Weitere führen zu einem trägen und wenig innovativem IT-Umfeld. Somit ist es nicht überraschend, dass zur Entwicklung von Webanwendungen noch immer auf alte und etablierte Technologien wie JavaServer Pages und jQuery zurückgegriffen wird.

Quelle!

Viele Unternehmen nutzen bereits seit einigen Jahren Angular als Technologiebasis für clientseitige Webanwendungen, beispielsweise *Gmail*, *PayPal* oder *Youtube*. In der Commerzbank wurde Angular bisher nicht berücksichtigt; erst in jüngerer Vergangenheit wird es in vereinzelten Projekten eingesetzt. Hierbei werden automatisierte Entwicklertests in JavaScript aufgrund von Unwissenheit über die Möglichkeiten meist stiefmütterlich behandelt. Die Anwendungen werden stattdessen per Hand im Webbrowser getestet. Die sich hieraus ergebende Testabdeckung steht im Gegensatz zu den Anforderungen an Sicherheit und Stabilität im Bankenumfeld.

quellen

In dieser Bachelorthesis sollen daher die Möglichkeiten zur Realisierung von automatisierten Tests in AngularJS-Webanwendungen untersucht werden.

...?

2 Grundlagen

2.1 Test

Der Test von Software dient dazu, mögliche Fehler aufzudecken und dadurch die Qualität zu erhöhen. Der Nachweis von Fehlerfreiheit ist unmöglich, daher muss der Testaufwand verhältnismäßig zum Ergebnis sein[SL12, S. 14 ff.].

Beim Testen werden üblicherweise vier Teststufen unterschieden[SL12, S. 42 f.]:

- Komponententest
- Integrationstest
- Systemtest
- Abnahmetest

Bei Komponenten-, Integrations- sowie bedingt bei Systemtests handelt es sich um Entwicklertests, weshalb diese im Rahmen dieser Bachelorthesis relevant sind. Der Abnahmetest wird daher nicht betrachtet.

2.1.1 Komponententest

Ein Komponententest überprüft die einzelnen Bausteine der entwickelten Software erstmalig und unabhängig von anderen Bausteinen. Es wird überprüft, ob die Komponente den Anforderungen sowie dem definierten Softwaredesign entspricht. Außerdem kann auch der Quellcode analysiert und zur Erstellung der Testfälle herangezogen werden; dann handelt es sich um einen *Whitebox-Test*. [SL12, S. 44] In JavaScript ist die kleinste testbare Komponente üblicherweise eine Funktion[Zae12]. Die zu testende Komponente muss nicht zwingend atomar sein, d. h. die Funktion kann aus weiteren Funktionen zusammengesetzt sein, jedoch sollte nur die komponenteninterne Funktionsweise getestet werden[SL12, S. 45]. Beim Test von AngularJS-Anwendungen sind die Komponenten beispielsweise Controller, Services, Direktiven und Filter.

Ein Komponententest hat spezifische Testziele. Das Wichtigste ist die Sicherstellung, dass die Funktion der Anforderung in der Spezifikation entspricht. Hierdurch wird die Komponente wie gefordert mit anderen Komponenten zusammenarbeiten und somit in die Gesamtsoftware integriert werden können. Wichtig ist auch der Test auf Robustheit: Bei falschem Aufruf, also einem Verstoß gegen die Vorbedingungen, sollte die Komponente sinnvoll reagieren und den Fehler abfangen. Testfälle lassen sich in Positiv- und Negativtests unterteilen: Positivtests sind die Überprüfung von vorgesehenem Verhalten der Komponente, Negativtests der Test von nicht vorgesehenen, unzulässigen oder explizit ausgeschlossenen Sonderfällen.[SL12, S. 48].

Im Komponententest können auch nicht funktionale Qualitätseigenschaften getestet werden. Zu nennen sind hier beispielsweise Speicherverbrauch oder Antwortzeit, sowie

statische Tests auf Wartbarkeit, wie beispielsweise vorhandene Quelltextkommentare oder die Einhaltung von Programmierrichtlinien.[SL12, S. 49 f.]

evtl
hier
Ref auf
unter-
kapitel

2.1.2 Integrationstest

Der Integrationstest folgt nach den Komponententests und basiert auf getesteten Komponenten. Diese Komponenten werden zu größeren Komponenten oder Teilsystemen zusammengesetzt. Der Integrationstest dient dann dazu zu überprüfen ob alle Einzelteile korrekt zusammenarbeiten und soll Fehler in Schnittstellen und im Zusammenspiel aufdecken. [SL12, S. 52 f.] Beispielsweise kann in einem Integrationstest auch die Anbindung an externe Komponenten, wie Datenbanken oder REST-APIs überprüft werden. Diese werden im Komponententest durch *Mocks* ersetzt und emuliert.

Somit ist das aufdecken von Schnittstellenfehlern ein Testziel des Integrationstest, zum Beispiel wegen von der Spezifikation abweichender Schnittstellen. Außerdem ist ein Testziel unerwünschte Wechselwirkungen zwischen den Einzelkomponenten aufzudecken, welche das Zusammenspiel unmöglich machen. [SL12, S. 56]

Der Integrationstest ist jedoch kein Ersatz für den Komponententest, da er mit Nachteilen verbunden ist. Es ist schwer bis unmöglich, die tatsächliche Fehlerursache herauszufinden, da oft nicht klar ist in welcher Teilkomponente der Fehler aufgetreten ist, sondern dieser sich nur in einem abweichenden Gesamtverhalten äußert. Manche Fehler werden möglicherweise gar nicht gefunden, da regelmäßig kein vollumfänglicher Zugriff auf Einzelkomponenten besteht.[SL12, S. 57]

Es existieren verschiedene Integrationsstrategien, die Auswirkungen auf die Integrationstests haben:[SL12, S. 59 f.]

- Bei der Top-Down-Integration beginnt der Test mit der obersten Systemkomponente, von der alle Anderen aufgerufen werden. Sukzessive werden die weiteren Komponenten von oben nach unten integriert und getestet, wobei die untergeordneten Komponenten zunächst durch Platzhalter ersetzt werden. Vorteilhaft ist, dass keine aufwändigen Testtreiber zum Aufruf benötigt werden. Jedoch müssen Platzhalterkomponenten implementiert werden, was einen zusätzlichen Overhead beim Test bedeuten kann.
- Bei der Bottom-up-Integration werden zunächst die unteren, atomaren Komponenten integriert und getestet. Erst nach und nach werden größere Teilsysteme aus getesteten Komponenten integriert. Der Vorteil hierbei ist, dass keine Platzhalter implementiert werden müssen. Jedoch müssen hier aufwändige Testtreiber erstellt werden, welche die übergeordneten, aufrufenden Komponenten emulieren.

- Bei der Ad-hoc-Integration werden Komponenten integriert, sobald sie fertiggestellt sind. Nachteilig hierbei ist, dass sowohl Platzhalter als auch Testtreiber implementiert werden müssen. Allerdings bietet sich ein Zeitgewinn, da jede Komponente so früh wie möglich integriert wird.
- Bei der wenig empfehlenswerten Big-Bang-Integration werden alle Komponenten auf einmal integriert. Sie bietet ausschließlich Nachteile: Es wird Zeit verschwendet, da bis zur Fertigstellung der letzten Komponente gewartet wird. Auch treten alle Fehlerwirkungen gesammelt auf, so dass es schwierig ist, die Fehler zu finden.

2.1.3 Systemtest

Der Systemtest ist der finale Entwicklertest nach den abgeschlossenen Integrationstests. Getestet wird das gesamte System, möglichst in einer produktionsnahen Umgebung. Es sind keine Testtreiber oder Platzhalter mehr vorhanden, stattdessen wird überall die finale Hard- und Software genutzt. Das Testziel ist die Validierung, ob alle funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen erfüllt werden.[SL12, S. 60 ff.]

Aufgrund der erforderlichen Produktionsnähe sowie der erforderlichen Datenbasis kann der Systemtest nur bedingt als Entwicklertest gesehen werden[Roi05, S. 236; oos06]. Jedoch kann und sollte ein einfacher Systemtest auch von Entwicklern durchgeführt werden. Es bietet sich hier die Durchführung von End-To-End-Tests an, mittels derer das System von der Benutzeroberfläche bis zur untersten Komponentenschicht getestet werden kann[Sof10].

2.2 AngularJS

AngularJS ist ein von Google ins Leben gerufenes JavaScript-Framework zur Entwicklung von clientseitigen Webanwendungen[Goo17i]. Der Quellcode von AngularJS steht auf Github zur Verfügung und wird dort von einer großen Entwicklergemeinschaft weiterentwickelt[Ler13, S. 9]. Da es unter der MIT-Lizenz veröffentlicht ist eignet sich AngularJS auch für den kommerziellen Einsatz[Ler13, S. 9; Pat16].

Ende 2016 wurde eine neue Version von Angular veröffentlicht: Angular2[Pre16]. Durch die Bezeichnung kann AngularJS (Version 1) klar von Angular2 (Version 2) abgegrenzt werden. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird AngularJS betrachtet.

2.2.1 Architektur

Bei der Entwicklung von Webanwendungen mit AngularJS kommt das Model-View-ViewModel-Entwurfsmuster (MVVM), eine Erweiterung von Model-View-Controller (MVC), zum Einsatz[BT14, S. 21].

Die Model-Schicht, also die Datenhaltung und Geschäftslogik, liegt hierbei auf dem Server und wird durch REST- oder WebSocket-Verbindungen dargestellt. Hierzu kommen in AngularJS meist Services zum Einsatz: Vordefinierte, wie z.B. der http-Service für HTTP-Abfragen, oder Selbsterstellte[Goo17h]. Mittels dieser kann Geschäftslogik auch clientseitig umgesetzt werden.[BT14, S. 21]

Es ist erforderlich, die über die Model-Schicht ermittelten Daten zu verwalten und gegebenenfalls zu transformieren um sie der Anzeige zur Verfügung zu stellen. Hierfür wird die ViewModel-Schicht genutzt. Außerdem wird in dieser Schicht die Funktionalität definiert, welche die View-Schicht steuert und diese zur Kommunikation mit der Model-Schicht nutzt. Dabei handelt es sich um Funktionen zur Behandlung von Events, wie Buttonclicks, Texteingaben, etc. Zur Weitergabe der Daten an die Anzeige wird Two-Way-Databinding (s. Abschnitt 2.2.2) verwendet. Umgesetzt wird die ViewModel-Schicht mit Controllern und sogenannten Scopes (s. Abschnitt 2.2.3). [BT14, S. 21 f.]

Die View-Schicht wird in AngularJS mit Templates und Direktiven umgesetzt. Templates sind HTML-Dateien, in welchen zusätzliche Tags und Attribute, die sogenannten Direktiven, verwendet werden. [BT14, S. 1 ff.]Direktiven ermöglichen es wiederverwendbare Komponenten zu erschaffen, indem Template und Quelltext in einem neuen Tag oder Attribut gekapselt werden[BT14, S. 49 f.].

```
1 <!DOCTYPE html>
  <html ng-app="testApp">
3   <body ng-controller="TestCtrl">
      <input type="text" ng-model="someModelField" />
5     <h1>Eingabe: {{someModelField}}</h1>

7     <button ng-click="setName()">Andere Eingabe</button>

9     <script src="js/angular.js" />
  </body>
11 </html>
```

Listing 1: Beispiel eines AngularJS-Templates, adaptiert nach [BT14]

Im Beispieltemplate (s. Listing 1) wird ein Eingabefeld (HTML `input`) definiert, dessen Inhalt automatisch mit der im Scope liegenden Variable `someModelField` synchronisiert wird. Ein `h1`-Element zeigt den Inhalt dieser Variablen an. Für beide Synchronisierungen wird automatisch Two-Way-Databinding (s. Abschnitt [ref](#)) genutzt. Weiterhin wird ein Button definiert, welcher bei Click die Controller-Funktion `setName()` aufrufen soll. Die Angabe `ng-app` im `html`-Tag gibt das AngularJS-Modul an, welches von der Anwendung verwendet werden soll. Die Angabe `ng-controller` spezifiziert den von diesem Template zu verwendenden Controller (s. Listing 2).

```
1 var testApp = angular.module("testApp", []);

3 testApp.controller("TestCtrl", function($scope) {
    $scope.someModelName = "Welt";

5     $scope.setName = function() {
7         $scope.someModelName = "Neue" + $scope.someModelName;
    }
9 });
```

Listing 2: Beispielhafter AngularJS-Controller, adaptiert nach [Goo17d]

In der JavaScript-Datei wird im verwendeten Modul eine Funktion, die als Controller mit dem Namen `TestCtrl` dient, definiert. Dieser Controller spezifiziert die Funktion `setName`, welche dadurch im Template verwendet werden kann. Das Skript muss über Dateikonkatenation (npm-Package „concat“ [Gor17]) oder zusätzliches Einbinden in das Template an den Browser ausgeliefert werden.

2.2.2 Two-Way-Databinding

Two-Way-Databinding ist die Datenbindung in beide Richtungen. Es dient der Aktualisierung der Model-Daten anhand von Benutzereingaben in der Ansicht sowie

die Anpassung und Aktualisierung der View bei Änderungen des zugrundeliegenden Datenmodells. Dieses Konzept ist integraler Bestandteil von AngularJS und erspart das Schreiben von Boilerplate-Code, der nicht zur Geschäftslogik beiträgt. Ohne Two-Way-Databinding wäre es erforderlich, auf jedem zu synchronisierenden DOM-Element einen ChangeListener zu registrieren, welcher Änderungen durch den Benutzer an das Datenmodell weiterreicht. Außerdem müsste Logik implementiert werden, welche bei einer Änderung von Variablen im Datenmodell die View aktualisiert. Die Datenbindung in AngularJS erhöht somit die Effizienz, da Programmcode mit weniger Overhead geschrieben werden kann.[BT14, S. 24]

2.2.3 Scopes

Scopes sind in AngularJS die Basis der Datenbindung, wobei in einem Scope die Variablen und Funktionen definiert sind, welche für einen bestimmten Teil des DOM benötigt werden. Scopes sind hierarchisch angeordnet und bilden grob die DOM-Struktur nach. Den Ursprung dieser Hierarchie bildet der Root-Scope, welcher von AngularJS standardmäßig zur Verfügung gestellt wird. Hierbei können sie entweder die Eigenschaften des jeweils übergeordneten Scopes erben oder isoliert sein. Beim Auswerten von Ausdrücken in Templates (z. B. `{{scopeVariable}}`) wird zuerst im mit dem jeweiligen Element assoziierten Scope und danach in den jeweils Übergeordneten nach der Eigenschaft gesucht.[BT14, S. 23 ff.; Goo17g]

Zur Erkennung, ob eine Variable im Datenmodell geändert wurde und eine Aktualisierung der Anzeige erforderlich ist, wird in AngularJS Dirty Checking genutzt. Hierzu wird von jedem Scope eine Kopie im Speicher gehalten, so dass bei jedem Event die gehaltene und aktuelle Version eines Scopes miteinander verglichen werden können. Bei veränderten Werten wird eine Aktualisierung der Anzeige angestoßen.[BT14, S. 24; Sym]

2.2.4 Dependency Injection

Dependency Injection ist ein Entwurfsmuster welches beschreibt, wie eine Komponente Zugriff auf benötigte Abhängigkeiten, also andere Komponenten, bekommt und wird in AngularJS durchgängig genutzt. Bei Nutzung von Dependency Injection werden die Komponenten nicht selber erzeugt sondern von außerhalb durch einen Injector geliefert. Hierfür ist es nötig, dass Services, Direktiven, Filter und Controller mit den entsprechenden Factory-Funktionen von AngularJS erzeugt werden. Diese registrieren einerseits die Komponente und ermöglichen es, diese in andere Komponenten zu injizieren, kümmern sich aber auch um die Bereitstellung der benötigten Komponenten. [Goo17e]

Im Beispiel in Listing 3 wird im Modul `someModule` ein neuer Controller `MyController` angelegt, in welchen der Scope, sowie die zwei Services `http`, welcher


```
1 someModule.controller("MyController", ["$scope", "$http", "dep", function  
    ($scope, $http, dep) {  
2     $scope.aMethod = function() {  
3         dep.someFunction();  
4         // ...  
5     }  
    });
```

Listing 3: Beispielhafter AngularJS-Controller mit Dependency Injection, adaptiert nach [Goo17e]

standardmäßig von AngularJS zur Verfügung gestellt wird, sowie **dep**, welcher benutzerdefiniert erstellt wurde, injiziert werden. Diese Abhängigkeiten werden durch Übergabe als Funktionsparameter bereitgestellt.

Dependency Injection bietet gravierende Vorteile für die Testbarkeit. Es ermöglicht, eine Komponente durch ein spezielles selbst implementiertes Mock-Objekt zu ersetzen, dessen Verhalten festgelegt werden kann. Bei Tests kann das Verhalten der Abhängigkeiten festgelegt und Komponenten isoliert getestet werden.[BT14, S. 27]

2.3 Node.js

2.3.1 Laufzeitumgebung

Node.js ist eine Laufzeitumgebung, mit der JavaScript ohne Webbrowser ausgeführt werden kann[HWD12, S. 1]. Somit ist es möglich, JavaScript nicht nur für die Darstellung von Benutzeroberflächen im Webbrowser zu Nutzen, sondern auch als Backend-Sprache oder zur Unterstützung von Entwicklungsprozessen auf Continuous-Integration-Servern oder Entwicklerarbeitsplätzen.

Intern nutzt Node.js die JavaScript-Engine *Chrome V8* [Nod17], welche von Google als Open-Source-Software veröffentlicht wurde. V8 kommt auch im weitverbreiteten Webbrowser *Google Chrome* zum Einsatz und implementiert den JavaScript-Standard ECMAScript wie in ECMA-262 spezifiziert[Goo17j]. ECMA-262 ist der im Juni 2016 veröffentlichte und zurzeit aktuellste JavaScript-Standard[Ecm16]. Somit bietet Node.js alle spezifizierten und von Google Chrome unterstützten Sprachfunktionalitäten. Es eignet sich daher auch für den Test von für Webbrowser entwickelte Webanwendungen.

2.3.2 Node Package Manager (npm)

Der Node Package Manager (npm) ist der zusammen mit Node.js installierte Paketmanager sowie Buildmanager für JavaScript. Unter npm wird außerdem die *npm Registry*, also die zentrale Ablage von mit npm verwendeten JavaScript-Paketen, verstanden, auf welche der Node Package Manager zugreift. [npm17c] Die npm Registry enthält über 180.000 Pakete und ist damit das größte öffentliche Softwarerepository[DeB17].

Grundlegend funktioniert die Paketverwaltung mit einer JSON-Konfigurationsdatei, der `package.json` (vgl. Listing 4). Die Datei enthält den Namen sowie die Version des Pakets, für welches sie angelegt wurde, sowie optional weitere Metadaten wie Beschreibung, Autor und Referenzlinks auf Bugtracker. Außerdem werden hier Abhängigkeiten angegeben, die zur Ausführung (`dependencies`) oder zur Entwicklung (`devDependencies`) in diesem Paket benötigt werden.[npm17d] Die angegebenen Abhängigkeiten werden von npm automatisiert heruntergeladen und im Ordner `node_modules` abgelegt, von wo aus sie in die JavaScript-Anwendung eingebunden werden können. Auch transitive Abhängigkeiten werden von npm aufgelöst.[npm17a]

```
{
  "name": "test_package",
  "version": "1.0.0",
  "dependencies": {
    "my_dependency": "1.1.0"
  },
  "devDependencies": {
    "some_test_framework": "0.1.0"
  }
}
```

Listing 4: Beispiel einer package.json

Neben der Paketverwaltung kann npm auch zum Build als Taskrunner eingesetzt werden. Hiermit kann der Buildprozess eines Paketes automatisiert werden, z. B. durch die automatisierte Ausführung von Tests oder dem Aufrufen von Compilern. Hierzu werden in der `package.json` Skripte angegeben. Diese bestehen aus einem Skript-Namen und dem auszuführenden Befehl. Im Beispiel (siehe Listing 5) werden drei Skripte definiert:[Cir14]

- „lint“ führt das Kommando `jshint *.js` aus. Dies dient dem Überprüfen von JavaScript-Dateien auf statische Programmierfehler[Wal+17].
- „build“ führt das Kommando `browserify [...]` aus. Dieses dient dem Zusammenfügen von mittels `require` eingebundenen JavaScript-Dateien in eine konkatenierte Datei[Hal+17].
- „test“ führt das Kommando `mocha [...]` aus. Mocha ist ein Test-Runner (siehe auch Abschnitt 3.2.2).

Angegebene Skripte können auch automatisch in sogenannten Hooks (*Pre* und *Post Hooks*) ausgeführt werden. Im Beispiel (siehe Listing 5) sind folgende Hooks definiert:[Cir14]

- „prepublish“ wird vor der Ausführung von `publish`, welches ein npm Standard-Skript ist und das Paket in der npm Registry veröffentlicht[npm16], das benutzerdefinierte Skript `build` sowie dadurch `prebuild` und `postbuild` ausführen.
- „prebuild“ wird vor Ausführung des `build`-Skripts das Paket durch Ausführung von `test` überprüfen.
- „pretest“ wird vor Ausführung von `test` mittels `lint` das Paket auf statische Fehler untersuchen.

```
1  "scripts": {  
2    "lint": "jshint *.js",  
3    "build": "browserify index.js > myproject.min.js",  
4    "test": "mocha test/",  
5  
6    "prepublish": "npm run build # also runs npm run prebuild",  
7    "prebuild": "npm run test # also runs npm run pretest",  
8    "pretest": "npm run lint"  
9  }
```

Listing 5: Beispiel von Skripten in einer package.json (aus [Cir14])

Die wohl populärste Funktion von Taskrunnern ist das automatisierte Beobachten des Dateisystems auf Änderungen. Häufig ist es wünschenswert, dass bei einer Dateiänderung automatisch ein entsprechender Buildprozess oder die Tests ausgeführt werden. Diese Funktionalität bietet npm im Gegensatz zu anderen Taskrunnern wie *Gulp* oder *Grunt* nicht nativ, sondern nur mithilfe eines Zusatzpakets. Ein entsprechendes Beispiel, welches bei Veränderung einer Datei im Paket-Ordner die JavaScript-Module zu einer Datei konkateniert[Hal+17] und den JavaScript-Code des Paketes überprüft, findet sich in Listing 6.[Cir14]

```
1  "scripts": {  
2    "lint": "jshint *.js",  
3    "build:js": "browserify assets/scripts/main.js > dist/main.js",  
4    "build": "npm run build:js",  
5    "build:watch": "watch 'npm run build && npm run lint' .",  
6  }
```

Listing 6: Beispiel der Watch-Funktionalität in einer package.json (aus [Cir14], angepasst durch den Autor)

3 Auswahl von Testsoftware

Im folgenden Kapitel wird eine Auswahl verschiedener Tools und Frameworks zur Realisierung von automatisierten Tests getroffen.

3.1 Anforderungsanalyse

An die auszuwählenden Frameworks oder Tools beziehungsweise eine Kombination Mehrerer stellen sich folgende Anforderungen:

1. Es muss die Durchführung von Komponententests möglich sein.
2. Es muss die Durchführung von End-To-End-Tests möglich sein.
3. Es muss der Test von AngularJS-Anwendungen möglich sein.
4. Es soll die Testausführung von Komponententests via Node.js sowie im Browser möglich sein.
5. Die Software muss unter Windows 7 funktionieren.
6. Es darf keine zusätzliche Software (beispielsweise Python) zur Ausführung erforderlich sein; lediglich Node.js ist zulässig, da dies über die Standardsoftwareverteilung der Commerzbank verfügbar ist.
7. Wenn die Software Node.js benötigt, muss sie mit Version 6.9.2 lauffähig sein.
8. Die Software muss über npm installierbar sein.
9. Sie muss Open-Source und für den kommerziellen Einsatz freigegeben sein.
10. Sie soll aktiv gewartet und Fehler in ihr behoben werden.
11. Gemäß SEF müssen Testfälle eindeutig beschrieben werden; diese Beschreibung auch kann durch Implementierung der Tests erfolgen[Com17c]. Das Testframework soll daher eine Beschreibung der Tests forcieren.
12. Der Testcode soll leicht lesbar sein[Com17a, S. 7]; hierzu bietet sich der BDD-Stil an, den das Testframework somit unterstützen soll.
13. Die Software soll eine geringe Einarbeitungszeit erfordern und problemlos zu verwenden sein.
14. Sie soll dem Entwickler eine Flexibilität bei der Formulierung der Testfallimplementationen und Assertions bieten, damit dieser möglichst nah an seinen persönlichen Präferenzen arbeiten kann.

quelle

15. Gemäß SEF sollen Komponententests „einen möglichst großen Teil der Funktionalität abdecken“[Com17c]. Zur Überprüfung dessen muss eine Möglichkeit zur Ermittlung der Code Coverage bestehen.
16. Die Ausgabe der Testergebnisse muss konfigurierbar sein, um sie gegebenenfalls in Prozessen oder anderen Tools der Commerzbank weiterverwenden zu können.
17. Bei der Durchführung von End-To-End-Tests soll es möglich sein, die Ergebnisse mit Screenshots zu dokumentieren.
18. Der Einsatz von Spies, Stubs und Mocks muss bei Unit-Tests möglich sein.
19. Das Bearbeiten aller Dateien in der TFS-Quellcodeverwaltung soll möglich sein, es dürfen somit keine proprietären Binärdateien zum Einsatz kommen.

3.2 Softwarerecherche

Einen Überblick über zur Verfügung stehende Tools bieten [Jon17] und Weitere.

3.2.1 Karma

Karma ist ein Test-Runner für die Ausführung von JavaScript-Tests. Er wurde vom AngularJS-Team ins Leben gerufen und wird auf GitHub von einer Open-Source-Gemeinschaft weiterentwickelt.[Kar17g] Karma liegt als Paket **karma** im npm-Repository[Kar17c].

Karma ermöglicht die Nutzung diverser Testframeworks, wie Jasmine (s. Abschnitt 3.2.6), Mocha (s. Abschnitt 3.2.2) oder QUnit (s. Abschnitt 3.2.4). Auch Continuous Integration Server wie Jenkins oder Travis werden unterstützt.[Kar17c]

Grundlegend basiert Karma auf einem Client-Server-Prinzip, wobei Karma einen Webserver startet, welcher alle verbundenen Browser fernsteuert und in diesen die Tests ausführt. Ein Browser kann hierbei entweder manuell, also durch Aufruf der vom Karma-Server bereitgestellten URL, oder automatisiert, also indem der Browser durch Karma gestartet wird (vgl. Listing 7), verbunden werden. In jeder Testumgebung wird der Quelltext mittels IFrame eingebunden, der Test ausgeführt und danach die Ergebnisse an den Server gesendet. Dort werden die Ergebnisse aufgearbeitet präsentiert oder automatisiert von übergeordneten Buildprozessen verarbeitet. Das verwendete Prinzip stammt aus einer Masterthesis [Jin13]; tieferes Verständnis ist jedoch für die reine Nutzung von Karma nicht erforderlich.[Kar17d]

Für die Konfiguration wird eine JavaScript-Datei, die **karma.conf.js**, genutzt. Ein Beispiel findet sich in Listing 7. Mit dieser beispielhaften Konfiguration wird für die Testausführung das Framework Jasmine (s. Abschnitt 3.2.6) genutzt. Der Parameter **files** gibt an, welche Dateien von Karma ausgeliefert und beobachtet werden, und somit bei Änderung welcher Dateien die Tests automatisch erneut ausgeführt werden. Außerdem ist konfiguriert, dass bei Testdurchführung automatisch Firefox gestartet werden und in diesem die Tests ausgeführt werden soll.[Kar17a; Kar17b]

```
module.exports = function (config) {  
  2   config.set({  
      basePath: '',  
      4   frameworks: [ 'jasmine' ],  
      files: [  
        6     'build/js/**/*.js',  
        'build/js/**/*.test.js',  
      8   ],  
      browsers: [ 'Firefox' ]  
  10  });  
};
```

Listing 7: Beispiel einer `karma.conf.js` (adaptiert nach [Kar17a; Kar17b])

Die Funktionalität von Karma lässt sich mit Plugins erweitern. Sie werden für die Einbindung von Testframeworks, ein verändertes Ausgabeformat der Testergebnisse, Präprozessoren (z. B. für die Auslieferung von in JavaScript eingebettetem HTML oder die Ermittlung der Code Coverage)[Kar17f] oder die Einbindung von Browsern wie Firefox, Chrome oder PhantomJS (s. Abschnitt 3.2.9) benötigt. Jedes Plugin ist ein npm-Paket, daher werden Plugins über npm installiert. Karma bindet alle installierten Pakete mit dem Namen `karma-*` automatisch ein.[Kar17e] Im npm-Repository liegen über 1300 Karma-Plugins.[npm17b]

3.2.2 Mocha

Mocha ist ein Testframework und Test-Runner, welches sowohl in Node.js als auch in Browsern lauffähig ist. Es liegt als Paket `mocha` im npm-Repository und kann darüber installiert werden.[Moc17]

Tests bestehen in Mocha aus drei Ebenen. Die Oberste sind die Testsuites, welche weitere Testsuites oder Testfälle enthalten können. Für jeden Testsuite und jeder Testfall muss ein Name vergeben werden, durch welchen der Test beschrieben wird. Testfälle bestehen aus funktionalem Code sowie Assertions als eigentliche Testüberprüfung. Es werden verschiedene Stile zur Testbeschreibung unterstützt: BDD, TDD, QUnit (s. Listing 10 in Abschnitt 3.2.4) und weitere, welche sich nur in ihrem Aussehen unterscheiden und Entwicklern ermöglichen, ihren eigenen Stil zur Definition von Tests zu wählen.[Moc17]


```
1 describe( '#indexOf()', function() {  
    context( 'when not present', function() {  
3       it( 'should not throw an error', function() {  
          (function() {  
5             [1,2,3].indexOf(4);  
          }).should.not.throw();  
7       });  
  
9       it( 'should return -1', function() {  
          [1,2,3].indexOf(4).should.equal(-1);  
11      });  
    });  
13    context( 'when present', function() {  
        it( 'should return the index where the element first appears in the  
            array', function() {  
15          [1,2,3].indexOf(3).should.equal(2);  
        });  
17    });  
  });
```

Listing 8: Beispiel eines Tests mit dem BDD-Stil in Mocha (adaptiert nach [Moc17])

In Listing 8 findet sich ein beispielhafter definierter Test unter Verwendung des BDD-Stils. Die Funktionen `describe` und `context` definieren Testsuites; sie unterscheiden sich nur zwecks besserer semantischer Lesbarkeit des Tests. Beim TDD-Stil werden stattdessen die Funktionen `suite` und `test` zur Definition von Testsuites bzw. -fällen verwendet.[Moc17]

Für Assertions können in Mocha verschiedene Frameworks genutzt werden. In [Moc17] wird beispielsweise die Nutzung von *should.js* bei Verwendung des BDD-Stils, *expect.js* oder *chai* (s. Abschnitt 3.2.7) empfohlen. Es ist einem Entwickler somit möglich, Mocha auf die eigenen Vorlieben anzupassen.[Moc17] Auf eine genauere Vorstellung und Codebeispiele wird an dieser Stelle aufgrund der Vielseitigkeit verzichtet.

Mocha ermöglicht es, die Testausgabe beliebig zu konfigurieren, so dass beispielsweise eine Ausgabe in der Konsole, als HTML-Datei, als JSON oder im XML-Format möglich ist. Bei besonderen Anforderungen können eigene Reporter erstellt werden, z. B. zur Einbindung in Continuous-Integration-Tools.

3.2.3 AVA

AVA ist ein Test-Runner für in JavaScript geschriebene Tests. Die Besonderheit ist, dass die Tests simultan ausgeführt werden und somit deutliche Performanceverbesserungen möglich sind. Es steht unter `ava` im npm-Repository zur Verfügung.[Sor+17]

AVA läuft ausschließlich in Node.js; es gibt also keine Möglichkeit den Test-Runner im Browser aufzurufen. Ein Test wird über Aufruf einer Funktion, welche aus dem Node-Modul *ava* importiert wird, definiert. Dieser Funktion wird ein Funktionskörper übergeben, welcher den Test spezifiziert und Assertions durchführt. Ein Beispiel findet sich in Listing 9. Die Assertion-Funktionen werden über das übergebene Testobjekt *t* bereitgestellt. Es ist nicht vorgesehen andere Assertionframeworks zu nutzen. Mit den Funktionen **before**, **after**, **beforeEach** und **afterEach** können Funktionen definiert werden, welche vor oder nach jedem Test oder einmalig allen Tests ausgeführt werden.[Sor+17]

```
import test from 'ava';  
2  
test(t => {  
4   var testObject = [1, 2];  
   t.deepEqual(testObject, [1, 2]);  
6 });
```

Listing 9: Beispiel eines Tests mit AVA (adaptiert nach [Sor+17])

3.2.4 QUnit

QUnit ist ein Framework für automatisierte Komponententests mit JavaScript und wird von jQuery und einer Vielzahl weiterer Projekten genutzt. Es liegt unter *qunitjs* als Paket im npm-Repository. Es kann sowohl in Browsern als auch in Node.js ausgeführt werden.[The17b]

In QUnit geschriebene Tests ähneln denen vieler Testframeworks populärer anderer Sprachen, wie beispielsweise JUnit in Java. Ein Testfall wird mittels Aufruf von **QUnit.test(string, function)** definiert. In der übergebenen Funktion kann Testcode aufgerufen werden und das Ergebnis mit Assertions validiert werden. Wenn mindestens eine Assertion fehlschlägt, gilt der Test als fehlgeschlagen; sonst als bestanden. QUnit liefert Assertions mit: beispielsweise **assert.ok**, welche einen truthy Wert erwartet, oder **assert.equal**, welches zwei als gleich angesehene Werte erwartet.[The17a]

Tests können in durch Aufruf von **QUnit.module(string)** erzeugten Modulen gruppiert werden (s. Listing 10). In Modulen kann Code ausgelagert werden, indem die vor und nach jedem Test aufgerufenen Funktionen **beforeEach** und **afterEach** definiert werden.[The17a]

```
QUnit.module("group a");
2 QUnit.test("a basic test example", function(assert) {
    assert.ok(true, "this test is fine");
4 });
QUnit.test("a basic test example 2", function(assert) {
6     var sum = 1 + 2;
    assert.equal(sum, 3, "sum equals 3");
8 });
```

Listing 10: Beispiel mehrerer Tests für QUnit (adaptiert nach [The17a])

3.2.5 Intern

Intern ist ein Framework für automatisierte Tests in JavaScript. Es bietet sowohl Möglichkeiten für Komponenten- als auch für End-To-End-Tests. Intern ist flexibel und bietet dem Entwickler Möglichkeiten, seinen eigenen Stil zu verfolgen. Es steht als Paket `intern` über npm zur Verfügung.[Int17]

Intern stellt verschiedene Interfaces zur Definierung von Tests bereit; es können auch eigene definiert werden. Das *Object*-Interface ist eine einzelne Funktion, welcher ein Objekt übergeben wird, welches alle definierten Tests enthält. In diesem Objekt werden außerdem Funktionen die vor oder nach jedem Test oder der Testsuite ausgeführt werden sollen definiert. Ein Beispiel findet sich in Listing 11.[Int17]

```
define(function (require) {
2     var registerSuite = require('intern!object');

4     registerSuite({
        name: 'Suite name',
6         beforeEach: function (test 3.0) {
            // executes before each test
8         },
        afterEach: function (test 3.0) {
10            // executes after each test
        },
12        'Test foo': function () {
            // a test case
14        },
        'Test bar': function () {
16            // another test case
        },
18    });
});
```

Listing 11: Beispiel einer Testsuite in Intern (aus [Int17])

Die Interfaces *BDD* und *TDD* ähneln einander und unterscheiden sich nur durch die Benennung einzelner Funktionen. Sie verfolgen gegenüber dem Object-Interface einen prozeduraleren Ansatz, basieren also auf verschachtelt aufgerufenen Funktionen statt auf Objekten. Auch hier können Funktionen definiert werden, welche vor oder nach jedem Test oder der Suite aufgerufen werden. Ein Beispiel ist in Listing 12 zu finden.[Int17]

```
1 define(function (require) {  
    var bdd = require('intern!bdd');  
3  
    bdd.describe('the thing being tested', function () {  
5        bdd.beforeEach(function () {  
            // executes before each test  
7        });  
        bdd.afterEach(function () {  
9            // executes after each test  
        });  
11       bdd.it('should do foo', function () {  
            // a test case  
13       });  
        bdd.it('should do bar', function () {  
15            // another test case  
        });  
17    });  
});
```

Listing 12: Beispiel einer Testsuite in Intern (aus [Int17])

Es steht ein Interface zur Verfügung, welches QUnit nachempfunden und somit die Verwendung von in QUnit geschriebenen Tests (s. Listing 10 in Abschnitt 3.2.4) in Intern ermöglicht. Für alle Tests gilt, dass ein Test fehlschlägt, wenn in ihm ein Error auftritt, also eine Assertion fehlschlägt. Ansonsten gilt er als bestanden. Die Chai-Bibliothek ist in Intern enthalten, es ist jedoch auch die Nutzung von beliebigen anderen Assertion-Frameworks möglich. Durch Aufruf der Funktion `skip` können Tests übersprungen werden.[Int17]

End-To-End-Tests werden genau wie Unit-Tests definiert, werden jedoch in der Konfiguration in `functionalSuites` und nicht in `suites` aufgeführt. Hierdurch werden sie im Kontext des Test-Runners und nicht in der zu testenden Umgebung ausgeführt. Für die Interaktion mit dem Browser verwendet Intern mit *leadfoot* einen Wrapper für Selenium. Über das in `this.remote` zur Verfügung gestellte Leadfoot-Command-Objekt können Befehle im Browser ausgeführt werden.[Int17]

```
define(function (require) {  
2   var registerSuite = require('intern!object');  
   var assert = require('intern/chai!assert');  
4  
   registerSuite({  
6     name: 'index',  
  
8     'greeting form': function () {  
       return this.remote  
10        .get(require.toUrl('index.html'))  
        .setFindTimeout(5000)  
12        .findByCssSelector('body.loaded')  
        .findById('nameField')  
14        .click()  
        .type('Elaine')  
16        .end()  
        .findByCssSelector('#loginForm input[type=submit]')  
18        .click()  
        .end()  
20        .findById('greeting')  
        .getVisibleText()  
22        .then(function (text) {  
          assert.strictEqual(text, 'Hello, Elaine!',  
24            'Greeting should be displayed when the form is submitted');  
        });  
26      }  
    });  
28 });
```

Listing 13: Beispiel eines End-To-End-Tests in Intern (aus [Int17])

Im Beispiel in Listing 13 wird ein Testfall „greeting form“ definiert, in welchem die Index-Seite geladen wird und auf dieser in einem Eingabefeld der Wert „Elaine“ eingegeben und der Submit-Button geklickt wird. Abschließend wird überprüft ob das Element mit der ID „greeting“ den korrekten Inhalt enthält.

Intern ermittelt standardmäßig beim Ausführen von Tests die Code Coverage, also die Abdeckung von Codezeilen, Funktionen, Zweigen und Anweisungen. Die Ausgabe sowohl von Code Coverage als auch der Testergebnisse ist konfigurierbar.[Int17]

3.2.6 Jasmine

Jasmine ist ein BDD-Testframework und Test-Runner[Jas17b]. Es liegt unter `jasmine` im npm-Repository[Jas17a]. Jasmine bietet eine saubere und einfache Syntax zur Beschreibung von Testfällen. Die Tests bestehen aus drei Ebenen:

Testsuites, Spezifizierungen („Specs“) und Erwartungen, also den eigentlichen Testassertions[Jas17b]. Ein beispielhafter Test findet sich in Listing 14.

Eine Testsuite beginnt auf oberster Ebene mit dem Aufruf der globalen JavaScript-Funktion `describe`, wobei ein beschreibender String und eine Funktion zur Implementierung der Suite übergeben wird.[Jas17b]

Testsuites enthalten eine beliebige Menge von Specs, welche durch Aufruf der globalen Funktion `it` angelegt werden. Ein zu übergebender String enthält eine Beschreibung des Testfalls; nach dem BDD-Modell also eine Beschreibung des erwarteten Verhaltens. Die Funktion dient zum Überprüfen dieses Verhaltens und enthält Assertions.[Jas17b]

Eine Assertion besteht in Jasmine aus der Funktion `expect`, welcher der tatsächliche Wert übergeben wird. Diese wird mit einer Matcher-Funktion verkettet, welche den erwarteten Wert übergeben bekommt und die beiden Werte vergleicht und auswertet. Es wird eine Vielzahl an vorgefertigten Matchern mitgeliefert: `toEqual`, `toContain`, `toBeTruthy` und Weitere[Jas17b; Ban12].

```
describe("Sample Test", function() { //Suite
2   it("should add integers correctly", function() { //Spec #1
      var result = 13 + 2;
4
      expect(result).toBe(15); //Expectation
6   });

8   it("should compare e and pi correctly", function() { //Spec #2
      var e = 2.78;
10     var pi = 3.1416;

12     expect(e).toBeLessThan(pi); //Expectation #1
      expect(pi).not.toBeLessThan(e); //Expectation #2
14   })
})
```

Listing 14: Beispiel einer Jasmine-Testsuite (adaptiert nach [Jas17b])

3.2.7 Chai

Chai ist eine Assertion-Bibliothek, welche mit jedem Testframework kombiniert werden kann. Chai bietet verschiedene Assertion-Stile, so dass der Entwickler seinen eigenen Stil wählen kann.[Cha17c] Chai ist unter der ID `chai` über npm verfügbar und kann so installiert und in Projekte eingebunden werden[Cha17d].

Der Assert-Stil ähnelt klassischeren Testframeworks wie QUnit oder dem Assert-Modul in Node.JS. Über das `assert`-Objekt werden Funktionen zur Verfügung gestellt, zum Beispiel `isOk` zur Überprüfung, ob der Parameter `truthy` ist oder `equal`

zur Überprüfung, ob die Parameter gleich sind. Jeder Funktion kann eine optionale Nachricht übergeben werden, welche im Falle eines Fehlschlags in der Fehlermeldung angezeigt wird.[Cha17a]

Der BDD-Stil wird in zwei Varianten zur Verfügung gestellt: **expect** und **should**. Er ermöglicht es Assertions in einer natursprachlichen Form zu schreiben, welche somit gut lesbar sind. Die **should**-Variante hat einige Nachteile, weshalb an dieser Stelle nur die **expect**-Variante betrachtet wird. **Expect** ist eine Funktion, welcher der zu überprüfende Wert übergeben wird. Diese Methode wird mit weiteren Objekten und Funktionen verkettet, um die Assertion zu bilden.[Cha17b] Ein Beispiel hierzu findet sich in Listing 15.

```
1 var expect = require('chai').expect
  , foo = 'bar'
3   , beverages = { tea: [ 'chai', 'matcha', 'oolong' ] };

5 expect(foo).to.be.a('string');
  expect(foo).to.equal('bar');
7 expect(foo).to.have.lengthOf(3);
  expect(beverages).to.have.property('tea').with.lengthOf(3);
```

Listing 15: Beispiel von Assertions mit dem expect-Stil von Chai (aus [Cha17b])

3.2.8 Protractor

Protractor ist ein speziell für Angular-Anwendungen entwickeltes Framework für End-to-End-Tests. Die Tests werden in Browsern direkt gegen die Anwendungsoberfläche durchgeführt und simulieren somit das Verhalten eines echten Benutzers. Es liegt im npm-Repository mit der ID **protractor** und ist dadurch einfach zu installieren.[Pro17a]

Protractor nutzt als Framework für die Testbeschreibung standardmäßig Jasmine (s. Abschnitt 3.2.6), unterstützt out-of-the-box aber auch Mocha (s. Abschnitt 3.2.2). Die nachfolgenden Beispiele nutzen daher auch Jasmine. Das eingesetzte Testframework, die Adresse unter welcher der Selenium-Server angesprochen wird, Testdateien, Timeouts, für den Test zu verwendende Browser und weitere Feineinstellungen werden in einer Konfigurationsdatei (s. Listing 16) konfiguriert.

```
exports.config = {  
  2   framework: 'jasmine',  
      seleniumAddress: 'http://localhost:4444/wd/hub',  
  4   specs: [ 'js/e2e/**/*.js' ],  
      multiCapabilities: [  
  6       {browserName: 'firefox'},  
         {browserName: 'chrome'}  
  8   ]  
}
```

Listing 16: Beispiel einer Protractor-Konfiguration (adaptiert nach [Pro17c])

Üblicherweise hat jede zu testende Seite eine eigene Testsuite und jeder Testfall ist eine eigene Spec (s. Listing 17). Vor der eigentlichen Testdurchführung muss die jeweilige Seite aufgerufen werden: hierzu dient die durch Protractor bereitgestellte Funktion `browser.get(url)`. Es bietet sich an, diese in `beforeEach()` auszuführen, einer Funktion die durch Jasmine vor jedem Spec aufgerufen wird. Auf Elemente kann mit der Funktion `element` zugegriffen werden, welcher ein Locator übergeben wird. Locator sind ein durch Protractor definiertes Konstrukt und beschreiben, wie das Element gefunden werden kann. Um mit den gefundenen Elementen zu interagieren werden verschiedene Funktionen bereitgestellt: beispielsweise `sendKeys` zur Zeicheneingabe, `click` zum Simulieren eines Mausklicks oder `getText` um den Elementinhalt zu ermitteln.

```
1 describe('Protractor Demo App', function() {  
    beforeEach(function() {  
  3        browser.get('http://juliemr.github.io/protractor-demo/');  
    });  
  5  
    it('should have a title', function() {  
  7        expect(browser.getTitle()).toEqual('Super Calculator');  
    });  
  9  
    it('should add one and two', function() {  
  11        element(by.model('first')).sendKeys(1);  
        element(by.model('second')).sendKeys(2);  
  13  
        element(by.id('gobutton')).click();  
  15  
        expect(element(by.binding('latest')).getText()).toEqual('3');  
  17    });  
});
```

Listing 17: Beispiel einer Spec für Protractor (aus [Pro17c])

Für die Steuerung des Browsers greift Protractor auf Selenium zurück[Pro17a], welches den W3C WebDriver-Standard implementiert und als Proxyserver zwischen Protractor und dem Browser agiert[Tol+16]. Selenium unterstützt alle großen Webbrowser: aktuell die aktuellsten Versionen von Firefox, Internet Explorer ab Version 7, Safari ab Version 5.1, Opera und Chrome[Sel17]. Vom Einsatz von PhantomJS (s. Abschnitt 3.2.9) zusammen mit Protractor wird ausdrücklich abgeraten, da es hier Berichten zufolge häufig zu Abstürzen und abweichendem Verhalten kommt[Pro17b]. Laut eigener Aussage wird Selenium automatisch zusammen mit Protractor installiert und ist nach Aufruf von `webdriver-manager update` und `webdriver-manager start` ohne weitere Konfiguration lauffähig[Pro17a].

3.2.9 PhantomJS

PhantomJS ist ein skriptbarer WebKit-Browser ohne Benutzeroberfläche und ist über eine JavaScript-API ansteuerbar. Er bietet native Unterstützung für Webstandards wie DOM, CSS-Selektoren, JSON, HTML-Canvas und SVG.[Hid17c] PhantomJS steht nicht als npm-Paket zur Verfügung, sondern lässt sich lediglich als Binary installieren[Hid17a]. PhantomJS ist auch eine Laufzeitumgebung für JavaScript, so dass für ihn bestimmte Skripte nicht in Node.js ausgeführt werden können, sondern nur in PhantomJS[Hid17d].

Ein großer Nutzungsbereich von PhantomJS liegt im Testen von Webanwendungen; geeignet ist es beispielsweise für den Einsatz in Kommandozeilenumgebungen oder Continuous-Integration-Systemen. PhantomJS an sich ist kein Testframework, sondern dient der Ausführung eines beliebigen Testframeworks. Es existieren Frameworks welche speziell auf PhantomJS aufbauen und komfortable Funktionalitäten für Testzwecke zur Verfügung stellen: z.B. CasperJS (s. Abschnitt 3.2.10) oder WebSpecter, welches sich allerdings noch in einer frühen Entwicklungsphase befindet.[Hid17b]

Für das Laden von Webseiten sind Page-Objekte zuständig, über welche eine URL geladen werden kann, Screenshots gespeichert werden können oder auf DOM-Eigenschaften zugegriffen werden kann. Ein Beispiel findet sich in Listing 18. JavaScript-Code kann im Kontext einer geladenen Seite mit der `evaluate`-Funktion ausgeführt werden; die Ausführung erfolgt in einer Sandbox und kann somit nicht auf Objekte, Variablen oder Funktionen außerhalb des Kontexts zugreifen.[Hid17d]

```
var page = require('webpage').create();
2 page.open('http://example.com', function(status) {
    console.log("Status: " + status);
4     if(status === "success") {
        page.render('example.png');
6     }
    phantom.exit();
8 });
```

Listing 18: Beispiel eines Seitenaufrufs mit PhantomJS (aus [Hid17d])

3.2.10 CasperJS

CasperJS ist ein Framework für Navigation und Test in PhantomJS. Es steht unter `casper.js` im npm-Repository zur Verfügung.[Per+17a] Trotz dessen ist es nicht unter Node.js lauffähig[Per+17b], sondern benötigt Python[Per17].

Es ermöglicht die Erstellung von komplexen Navigationsszenarien unter Benutzung von High-Level-Funktionen. Hierzu werden u. a. die Funktionen `casper.start`, `casper.then`, `casper.thenOpen` und `casper.back` sequentiell aufgerufen. Das Szenario kann dann mittels `casper.run` aufgerufen werden und wird nacheinander abgearbeitet. Es stehen diverse Funktionen wie `casper.click`, `casper.fill` oder `casper.evaluate` zur DOM-Manipulation zur Verfügung. Für alle Browser-Operationen und DOM-Manipulationen wird als Browser PhantomJS genutzt, welcher von CasperJS gestartet wird. Die Ansteuerung von PhantomJS wird durch CasperJS vereinfacht, wodurch sich einfacher wartbarer Code ergibt[Dur15]. Ein beispielhaftes Navigationsszenario findet sich in Listing 19.[Per+17a]

```
var casper = require('casper').create();
2 casper.start('http://casperjs.org/');

4 casper.then(function() {
    this.echo('First Page: ' + this.getTitle());
6    this.click('#link-quickstart-full');
    });

8 casper.then(function() {
10    this.echo('Second Page: ' + this.getTitle());
    });
12 casper.run();
```

Listing 19: Beispiel eines Navigationsszenarios mit CasperJS (adaptiert nach [Per+17a])

CasperJS enthält auch ein einfaches Testframework. Ein Test wird durch Aufruf der Funktion `casper.test.begin` definiert und mit `test.done` beendet. Er gilt als erfolgreich, wenn er ohne fehlgeschlagene Assertions beendet wurde. Navigationsszenarien und Tests können verschachtelt werden, so dass mit CasperJS auch End-To-End-Tests durchgeführt werden können.[Per+17a; Per+17c] Ein einfacher Test ist in Listing 20 zu finden.

```
1 casper.test.begin('Cow can moo', 2, function suite(test) {  
    var cow = new Cow();  
3    test.assertEquals(cow.moo(), 'moo!');  
    test.assert(cow.mowed);  
5    test.done();  
});
```

Listing 20: Beispiel eines Tests mit CasperJS (aus [Per+17c])

3.2.11 Sinon

Sinon ist ein Framework für die Realisierung von Fakes, also Mocks, Stubs und Spies, in JavaScript und arbeitet mit jedem Unit-Test-Framework zusammen. Es ist als `sinon` über npm verfügbar.[Sin17c]

Spies Spies sind Funktionen die relevante Aufrufdaten aufzeichnen: Argumente, Rückgabewert, geworfene Exceptions und den Aufrufer. Ein Spy kann sowohl als anonyme Funktion - durch Aufruf von `sinon.spy()` - als auch als Wrapper für existierende Methoden - dann durch Aufruf von `sinon.spy(object, 'method')` für das Überschreiben von `object.method()`. [Sin17d] Ein Beispiel für einen Spy auf einer anonymen Funktion findet sich in Listing 21.

```
it('calls the original function', function () {  
2    var callback = sinon.spy();  
    var proxy = callFunction(callback);  
4  
    proxy();  
6  
    assert(callback.called);  
8});
```

Listing 21: Beispiel eines anonymen Spy in Sinon (aus [Sin17c])

Stub Stubs sind Spies mit einem vorprogrammierten Verhalten. Hierzu verfügen sie über die komplette Spy-API und zusätzliche Methoden, mit welchen ihr Verhalten angepasst werden kann. Anders als bei Spies wird bei einem Stub, welcher eine

existierende Funktion überschreibt, diese nicht ausgeführt. Sie können benutzt werden um ein bestimmtes Verhalten von Funktionen zu provozieren, z.B. durch das Werfen von Fehlern, oder um zu verhindern, dass Funktionen ausgeführt werden, z.B. `XMLHttpRequest` damit kein HTTP-Request abgesetzt wird. Ein Aufruf von `sinon.stub().throws()` erzeugt beispielsweise einen anonymen Stub, welcher bei Aufruf eine Exception wirft.[Sin17e]

Mocks Mocks sind Stubs, welche zusätzlich vorprogrammierte Erwartungen haben. Ein Mock ist somit ein Stub, welcher Assertions enthält. Es wird empfohlen, dass maximal ein Mock pro Unittest existiert. Ein Beispiel für einen Mock, in welchem erwartet wird, dass die gemockte Methode einmal aufgerufen wird und diese eine Exception werfen soll, findet sich in Listing 22. Das Eintreffen der definierten Erwartungen wird letztlich durch Aufruf von `verify()` überprüft - ein Nicht-Zutreffen führt wie bei Assertions zum Fehlschlag des Tests.[Sin17a]

```
1 "test should call all subscribers when exceptions": function () {
2   var myAPI = { method: function () {} };
3
4   var spy = sinon.spy();
5   var mock = sinon.mock(myAPI);
6   mock.expects("method").once().throws();
7
8   PubSub.subscribe("message", myAPI.method);
9   PubSub.subscribe("message", spy);
10  PubSub.publishSync("message", undefined);
11
12  mock.verify();
13  assert(spy.calledOnce);
14 }
```

Listing 22: Beispiel eines Mocks in Sinon (aus [Sin17a])

Sinon ermöglicht es, mit der Funktion `sinon.restore` alle Fakes, die auf einem übergebenen Objekt definiert wurden, zurückzusetzen. Es bietet außerdem die Möglichkeit *Sandboxes* anzulegen, in welchen alle angelegten Fakes abgelegt werden. Dies erleichtert das Aufräumen und Entfernen aller Fakes, da dies nun nicht mehr einzeln geschehen muss, sondern ein Aufruf von `sandbox.restore` genügt.[Sin17b]

3.2.12 ngMock

Bei ngMock handelt es sich um ein AngularJS-Modul, mit welchem andere Komponenten in Unit-Tests injiziert und gemockt werden können. Außerdem erweitert es diverse AngularJS-Kernservices, so dass diese in Testcode kontrolliert und inspiziert

werden können. Es steht im npm-Repository unter **angular-mocks** zur Verfügung und muss in der Konfiguration des verwendeten Test-Runners so eingebaut werden, dass es nach **angular.js** geladen wird.[Goo17c]

Die Funktionsweise basiert auf den Methoden **angular.mock.module**, welche die übergebenen Module lädt[Goo17b], und **angular.mock.inject**, welche eine übergebene Funktion in eine Injizierbare wrapt, eine neue Injector-Instanz erstellt und die angegebenen Abhängigkeiten injiziert[Goo17a]. Methoden von injizierten Abhängigkeiten können, beispielsweise mit Sinon (s. Abschnitt 3.2.11), mit Spies oder Mocks ersetzt werden.

```
describe('SimpleService', function() {  
2   var SimpleService, $log;  
  
4   beforeEach(module('app')); //load the module under test  
  
6   it('should log the message "something done!"', inject(function(  
    SimpleService, $log) {  
        sinon.spy($log, 'info');  
8        SimpleService.doSomething();  
        assert($log.info.calledOnce);  
10       assert($log.info.calledWith('something done!'));  
        $log.info.restore();  
12    }));  
});
```

Listing 23: Beispiel eines Tests mit injizierten Abhängigkeiten mit ngMock (adaptiert nach [Wat15])

Im Beispiel (s. Listing 23) wird das Module **app** geladen und die Services **SimpleService** und **\$log** in die Testfunktion injiziert. Dadurch kann ein Spy auf **\$log.info** gesetzt werden und hierdurch das korrekte Logging von **SimpleService.doSomething** validiert werden.

3.2.13 Istanbul

Istanbul ist ein Tool zur Ermittlung der Code-Coverage bei JavaScript-Ausführungen. Es ist als **nyc** im npm-Repository verfügbar.[Hen+17]

Der Aufruf von Istanbul erfolgt durch Voranstellung des Befehls **nyc** vor den eigentlichen Aufruf des Test-Befehls (z.B. **nyc mocha** zur Ermittlung der Code-Coverage bei einem Mocha-Aufruf). Istanbul bestimmt dann bei Ausführung die Zeilen-, Statement-, Funktions- und Zweigabdeckung für jede einzelne JavaScript-Datei. Das Ausgabeformat ist konfigurierbar und somit an die individuellen Bedürfnisse anpassbar.[Hen+17]

Istanbul unterstützt ES5, ES6, ES2015+ und laut eigener Aussage die meisten Testframeworks. Explizit genannt werden tap, Mocha (s. Abschnitt 3.2.2) und AVA (s. Abschnitt 3.2.3)[Hen+17], es wird jedoch auch Karma (vgl. [Kro+15]) unterstützt.

3.3 Auswahlentscheidung

Für die Entscheidungsfindung wird eine Entscheidungsmatrix (s. Tabelle 1) erstellt, in welcher die Anforderungen gegen die gefundene Software abgeglichen werden. Ein grüner Haken steht für ein Erfüllen der Anforderung; ein rotes Kreuz für einen Widerspruch. Eine leere Zelle bedeutet, dass die Anforderung bei dieser Software nicht relevant ist, da sie weder positiv noch negativ beeinträchtigt wird. Eine Anforderung wird von der ausgewählten Softwaremenge erfüllt, wenn keine Einzelsoftware der Anforderung widerspricht.

Zur Erfüllung von Anforderung 1 werden ein Testrunner, ein Framework zum Anlegen und Beschreiben der Testfälle sowie eine Assertion-Bibliothek benötigt; zur Erfüllung von Anforderung 2 zusätzlich ein Tool zur Browsersteuerung. Hierzu werden die gefundenen Softwares kategorisiert. Die endgültig ausgewählte Softwaremenge muss mindestens ein Exemplar jeder Kategorie enthalten, damit die Anforderungen 1 und 2 erfüllt werden.

Die Auswertung der Entscheidungsmatrix (s. Tabelle 1 auf der Folgeseite) zeigt klar eine Softwareauswahl, mit welcher die Anforderungen vollständig abgedeckt werden können. Als Framework zur Testfallbeschreibung sowie als Testrunner wird Mocha eingesetzt, welches neben Intern von allen betrachteten Frameworks die höchste Flexibilität mit sich bringt. Die Kombination mit der Assertionbibliothek Chai, welche sich aus der Matrix ergibt, wird von Mocha [Moc17] bereits in der Softwaredokumentation aufgeführt, wodurch hier von einem problemlosen Zusammenarbeiten auszugehen ist. Für die Ermittlung der Code-Coverage wird Istanbul eingesetzt; die Kombination des Einsatzes mit Mocha wird in [Hen+17] explizit empfohlen, so dass auch hier von keinerlei Problemen auszugehen ist.

Für die Realisierung von End-To-End-Tests wird auf das vom AngularJS-Team entwickelte Protractor zurückgegriffen und somit auch der Empfehlung aus der offiziellen AngularJS-Dokumentation [Goo17f] gefolgt. Die abweichende Kombination von Protractor mit Mocha und Chai, statt Jasmine, wird von vielen Entwicklern genutzt und unter Anderem in [Asu14] und [ByV14] beschrieben, so dass auch hier von keinen Problemen auszugehen ist.

Für die Realisierung von Spies, Stubs und Mocks in Komponententests wird auf Sinon und ngMock gesetzt.

	Software												
	Karma	Mocha	AVA	QUnit	Intern	Jasmine	Chai	Protractor	PhantomJS	CasperJS	Sinon	ngMock	Istanbul
Testrunner	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓			
Testfallbeschreibung		✓	✓	✓	✓	✓				✓			
End-To-End					✓			✓	✓	✓			
Assertion			✓	✓	✓	✓	✓			✓			
3 AngularJS-Support	✓	✓	✗ ¹	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4 Testausführung	✗	✓	✗	✓	✓	✓				✗			
5 Windows 7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6 benötigte Software	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓ ²	✓	✗	✓	✓	✓
7 Node.js 9.6.2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8 npm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
9 Open Source & kommerziell	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10 Wartung ³	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗ ⁴	✓	✓	✓	✓
11 Forcierte Beschreibung		✓	✗	✓	✓	✓				✓			
12 BDD-Stil		✓	✗	✗	✓	✓	✓			✗			
13 Einarbeitung & Verwendung	✓	✓	✓	✓	✗ ⁵	✓	✓	✓	✓	✗ ⁶	✓	✓	✓
14 Flexibilität		✓	✗	✗	✓	✗				✗			
15 Code-Coverage					✓								✓
16 Ausgabe-Konfiguration	✓	✓	✓	✓	✓	✓				✗			✓
17 Screenshots					✗			✓	✓	✓			
18 Spies, Stubs, Mocks											✓	✓	
19 keine proprietären Dateien	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabelle 1: Entscheidungsmatrix zur Softwareauswahl

¹<https://github.com/angular/angular.js/issues/13971>²Zur Ausführung wird zwar Selenium benötigt, dies wird aber automatisiert mitinstalliert und ist daher ok.³Zur Auswertung dieser Anforderung wird das jeweilige Github-Repository herangezogen.⁴1.841 offene Issues; 2 Issues geschlossen in der letzten Woche[Git17a; Git17b]⁵Warten auf asynchrone AngularJS-Komponenten muss bei End-To-End-Tests manuell implementiert werden.⁶Warten auf asynchrone AngularJS-Komponenten muss manuell implementiert werden.

4 Evaluierung

4.1 Projektumfeld

4.2 Implementierung

4.3 Auswertung

5 Ausblick

5.1 Einsatz von automatisierten Test im Commerzbank-Konzern

5.2 Mögliche Verbesserungen durch Einsatz von Angular2

5.3 Fazit

Literaturverzeichnis

- [Asu14] Asutosh. *An example of use of Protractor mit Mocha and Chai for an Angular applicaion*. 16. Feb. 2014. URL: <http://litutech.blogspot.de/2014/02/an-example-of-use-of-protractor-with.html> (besucht am 27.05.2017).
- [Ban12] Łukasz Kazimierz Bandzarewicz. *Jasmine Cheat Sheet*. 8. März 2012. URL: <http://blog.bandzarewicz.com/blog/2012/03/08/jasmine-cheat-sheet/> (besucht am 06.05.2017).
- [BT14] Robin Böhm und Philipp Tarasiewicz. *AngularJS: Eine praktische Einführung in das JavaScript-Framework*. 27. Mai 2014.
- [Bun16] Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht. *BaFin - Banken & Finanzdienstleister*. 22. März 2016. URL: https://www.bafin.de/DE/Aufsicht/BankenFinanzdienstleister/bankenfinanzdienstleister_node.html (besucht am 02.04.2017).
- [ByV14] Albert ByVerdu. *e2e tests with protractor and mocha*. 16. Nov. 2014. URL: <http://byverdu.github.io/e2e-tests-with-protractor-and-mocha/> (besucht am 28.05.2017).
- [Cha17a] Chai. *Assert - Chai*. 2017. URL: <http://chaijs.com/api/assert/> (besucht am 11.05.2017).
- [Cha17b] Chai. *Assertion Styles - Chai*. 2017. URL: <http://chaijs.com/guide/styles/> (besucht am 11.05.2017).
- [Cha17c] Chai. *Chai Assertion Library*. 2017. URL: <http://chaijs.com/> (besucht am 11.05.2017).
- [Cha17d] Chai. *Installation - Chai*. 2017. URL: <http://chaijs.com/guide/installation/> (besucht am 11.05.2017).
- [Cir14] Keith Cirkel. *How to Use npm as a Build Tool*. 9. Dez. 2014. URL: <https://www.keithcirkel.co.uk/how-to-use-npm-as-a-build-tool/> (besucht am 10.04.2017).
- [Com16] Commerzbank AG. »Book of IT-Standards«. internes Dokument. 15. Juni 2016.
- [Com17a] Commerzbank AG. »IT-Richtlinie: Allgemeine Programmierrichtlinien«. Version 4. internes Dokument. 1. Apr. 2017.
- [Com17b] Commerzbank AG. »IT-Richtlinie: Programmierrichtlinien JavaScript«. internes Dokument. 8. Feb. 2017.
- [Com17c] Commerzbank AG. »Software Engineering Framework. Ergebnistyp: Testergebnisse«. internes Dokument. 27. Apr. 2017.
- [DeB17] Erik DeBill. *Modulecounts*. 9. Apr. 2017. URL: <http://www.modulecounts.com> (besucht am 09.04.2017).
- [Dur15] Amir Duran. *Why is CasperJS better than PhantomJS*. 28. Juli 2015. URL: <http://code-epicenter.com/why-is-casperjs-better-than-phantomjs/> (besucht am 11.05.2017).

- [Ecm16] Ecma International. *Standard ECMA-262. ECMAScript 2016 Language Specification*. Version 7. Juni 2016. URL: <https://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/Ecma-262.pdf> (besucht am 06.04.2017).
- [Git17a] GitHub. *Issues - ariya/phantomjs*. dynamisch generierte Auswertung. 25. Mai 2017. URL: <https://github.com/ariya/phantomjs/issues> (besucht am 25.05.2017).
- [Git17b] GitHub. *Pulse - ariya/phantomjs*. dynamisch generierte Auswertung. 25. Mai 2017. URL: <https://github.com/ariya/phantomjs/pulse> (besucht am 25.05.2017).
- [Goo17a] Google. *AngularJS: API: angular.mock.inject*. 2017. URL: <https://docs.angularjs.org/api/ngMock/function/angular.mock.inject> (besucht am 15.05.2017).
- [Goo17b] Google. *AngularJS: API: angular.mock.module*. 2017. URL: <https://docs.angularjs.org/api/ngMock/function/angular.mock.module> (besucht am 15.05.2017).
- [Goo17c] Google. *AngularJS: API: ngMock*. 2017. URL: <https://docs.angularjs.org/api/ngMock> (besucht am 15.05.2017).
- [Goo17d] Google. *AngularJS: Developer Guide: Controllers*. 2017. URL: <https://docs.angularjs.org/guide/controller> (besucht am 24.04.2017).
- [Goo17e] Google. *AngularJS: Developer Guide: Dependency Injection*. 2017. URL: <https://docs.angularjs.org/guide/di> (besucht am 21.04.2017).
- [Goo17f] Google. *AngularJS: Developer Guide: E2E Testing*. 2017. URL: <https://docs.angularjs.org/guide/e2e-testing> (besucht am 27.05.2017).
- [Goo17g] Google. *AngularJS: Developer Guide: Scopes*. 2017. URL: <https://docs.angularjs.org/guide/scope> (besucht am 21.04.2017).
- [Goo17h] Google. *AngularJS: Developer Guide: Services*. 2017. URL: <https://docs.angularjs.org/guide/services> (besucht am 20.04.2017).
- [Goo17i] Google. *AngularJS: Miscellaneous: FAQ*. 2017. URL: <https://docs.angularjs.org/misc/faq>.
- [Goo17j] Google Developers. *Chrome V8*. 2017. URL: <https://developers.google.com/v8/> (besucht am 06.04.2017).
- [Gor17] Konstantin Gorodinskii. *concat*. 2017. URL: <https://www.npmjs.com/package/concat> (besucht am 21.04.2017).
- [Hal+17] James Halliday u. a. *browserify*. 5. Apr. 2017. URL: <https://github.com/substack/node-browserify/blob/master/readme.markdown> (besucht am 10.04.2017).
- [Hen+17] Anna Henningsen u. a. *Istanbul, a JavaScript test coverage tool*. 2017. URL: <https://istanbul.js.org/> (besucht am 28.05.2017).
- [Hid17a] Ariya Hidayat. *FAQ / PhantomJS*. 2017. URL: <http://phantomjs.org/faq.html> (besucht am 10.05.2017).
- [Hid17b] Ariya Hidayat. *Headless Testing / PhantomJS*. 2017. URL: <http://phantomjs.org/headless-testing.html> (besucht am 11.05.2017).

- [Hid17c] Ariya Hidayat. *PhantomJS*. 2017. URL: <http://phantomjs.org/> (besucht am 10.05.2017).
- [Hid17d] Ariya Hidayat. *Quick Start / PhantomJS*. 2017. URL: <http://phantomjs.org/quick-start.html> (besucht am 11.05.2017).
- [HWD12] T Hughes-Croucher, M Wilson und T Demmig. *Einführung in Node.js*. O'Reilly, 2012. ISBN: 9783868997972.
- [Int17] Intern. *Intern: The user guide*. 2017. URL: <https://theintern.github.io/intern/> (besucht am 12.05.2017).
- [Jas17a] Jasmine. *Getting Started*. 2017. URL: https://jasmine.github.io/pages/getting_started.html (besucht am 04.05.2017).
- [Jas17b] Jasmine. *introduction.js*. 2017. URL: <https://jasmine.github.io/edge/introduction.html> (besucht am 04.05.2017).
- [Jín13] Vojtěch Jína. »JavaScript Test Runner«. Magisterarb. Czech Technical University in Prague Faculty of Electrical Engineering Department of Computer Science und Engineering, 30. Juni 2013. URL: <https://github.com/karma-runner/karma/raw/master/thesis.pdf> (besucht am 03.05.2017).
- [Jon17] Jon. *JavaScript unit test tools for TDD*. 16. Jan. 2017. URL: <http://stackoverflow.com/a/680713>.
- [Kar17a] Karma. *Configuration File*. 2017. URL: <http://karma-runner.github.io/1.0/config/configuration-file.html> (besucht am 03.05.2017).
- [Kar17b] Karma. *Files*. 2017. URL: <http://karma-runner.github.io/1.0/config/files.html> (besucht am 03.05.2017).
- [Kar17c] Karma. *Frequently Asked Questions*. 2017. URL: <http://karma-runner.github.io/1.0/intro/faq.html> (besucht am 03.05.2017).
- [Kar17d] Karma. *How It Works*. 2017. URL: <http://karma-runner.github.io/1.0/intro/how-it-works.html> (besucht am 03.05.2017).
- [Kar17e] Karma. *Plugins*. 2017. URL: <http://karma-runner.github.io/1.0/config/plugins.html> (besucht am 04.05.2017).
- [Kar17f] Karma. *Preprocessors*. 2017. URL: <http://karma-runner.github.io/1.0/config/preprocessors.html> (besucht am 04.05.2017).
- [Kar17g] Karma. *Spectacular Test Runner For Javascript*. 2017. URL: <http://karma-runner.github.io/1.0/index.html> (besucht am 03.05.2017).
- [Kro+15] Tanguy Krotoff u. a. *A Karma plugin. Generate code coverage*. 16. Nov. 2015. URL: <https://github.com/karma-runner/karma-coverage> (besucht am 28.05.2017).
- [Ler13] Ari Lerner. *ng-book. The Complete Book on AngularJS*. 2013. ISBN: 978-0-9913446-0-4.
- [Moc17] Mocha. *Mocha - the fun, simple, flexible JavaScript test framework*. 2017. URL: <https://mochajs.org/>.
- [Nod17] Node.js Foundation. *Node.js*. 2017. URL: <https://nodejs.org/en/> (besucht am 06.04.2017).

- [npm16] npm, Inc. *npm-publish. Publish a package*. Nov. 2016. URL: <https://docs.npmjs.com/cli/publish> (besucht am 10.04.2017).
- [npm17a] npm. *install - npm Documentation*. 2017. URL: <https://docs.npmjs.com/cli/install> (besucht am 30.04.2017).
- [npm17b] npm. *karma-* - npm search*. 4. Mai 2017. URL: https://www.npmjs.com/search?q=karma-*&page=1&ranking=optimal (besucht am 04.05.2017).
- [npm17c] npm, Inc. *npm*. 2017. URL: <https://www.npmjs.com/about> (besucht am 08.04.2017).
- [npm17d] npm, Inc. *Using a package.json*. 9. März 2017. URL: <https://docs.npmjs.com/getting-started/using-a-package.json> (besucht am 09.04.2017).
- [oos06] oose Innovative Informatik eG. *A-256 Testkonzept erstellen*. 6. Nov. 2006. URL: https://www.oose.de/oep/desc/a_824d.htm?tid=256 (besucht am 17.04.2017).
- [Pat16] Bill Patrianakos. *Why I Use the MIT License*. 28. Juli 2016. URL: <http://billpatrianakos.me/blog/2016/07/28/why-i-use-the-mit-license/> (besucht am 19.04.2017).
- [Per+17a] Nicolas Perriault u. a. *CasperJS, a navigation scripting and testing utility for PhantomJS and SlimerJS*. 2017. URL: <http://casperjs.org/> (besucht am 11.05.2017).
- [Per+17b] Nicolas Perriault u. a. *FAQ - CasperJS 1.1.0-DEV documentation*. 2017. URL: <http://docs.casperjs.org/en/latest/faq.html> (besucht am 11.05.2017).
- [Per+17c] Nicolas Perriault u. a. *Testing - CasperJS 1.1.0-DEV documentation*. 2017. URL: <http://docs.casperjs.org/en/latest/testing.html> (besucht am 11.05.2017).
- [Per17] Nicolas Perriault. *Installation - CasperJS 1.1.0-DEV documentation*. 2017. URL: <http://docs.casperjs.org/en/latest/installation.html> (besucht am 11.05.2017).
- [Pre16] Pascal Precht. *Angular 2 Is Out - Get Started Here*. 18. Dez. 2016. URL: <https://blog.thoughttram.io/angular/2016/09/15/angular-2-final-is-out.html> (besucht am 19.04.2017).
- [Pro17a] Protractor. *Protractor - end-to-end testing for AngularJS*. 2017. URL: <http://www.protractortest.org> (besucht am 06.05.2017).
- [Pro17b] Protractor. *Setting Up the Browser*. 2017. URL: <http://www.protractortest.org/#/browser-setup> (besucht am 07.05.2017).
- [Pro17c] Protractor. *Tutorial*. 2017. URL: <http://www.protractortest.org/#/tutorial> (besucht am 07.05.2017).
- [Roi05] Erich H. Peter Roitzsch. *Analytische Softwarequalitätssicherung in Theorie und Praxis*. MV-Verlag, 2005. ISBN: 9783865822024.
- [Sel17] SeleniumHQ. *Platforms Supported by Selenium*. 2017. URL: <http://www.seleniumhq.org/about/platforms.jsp> (besucht am 07.05.2017).
- [Sin17a] SinonJS. *Mocks - SinonJS*. 2017. URL: <http://sinonjs.org/releases/v2.2.0/mocks/> (besucht am 14.05.2017).

- [Sin17b] SinonJS. *Sandboxes - SinonJS*. 2017. URL: <http://sinonjs.org/releases/v2.2.0/sandbox/> (besucht am 14.05.2017).
- [Sin17c] SinonJS. *SinonJS - Standalone test spies, stubs and mocks for JavaScript. Works with any unit testing framework*. 2017. URL: <http://sinonjs.org/> (besucht am 14.05.2017).
- [Sin17d] SinonJS. *Spies - SinonJS*. 2017. URL: <http://sinonjs.org/releases/v2.2.0/spies/> (besucht am 14.05.2017).
- [Sin17e] SinonJS. *Stubs - SinonJS*. 2017. URL: <http://sinonjs.org/releases/v2.2.0/stubs/>.
- [SL12] Andreas Spillner und Tilo Linz. *Basiswissen Softwaretest*. Dpunkt.Verlag GmbH, 11. Sep. 2012. ISBN: 3864900247. URL: http://www.ebook.de/de/product/19361935/andreas_spillner_tilo_linz_basiswissen_softwaretest.html.
- [Sof10] Software-Sanierung. *Warum End-To-End-Tests alleine mehr schaden als nützen*. 28. Feb. 2010. URL: <https://softwaresanierung.wordpress.com/2010/02/28/warum-end-to-end-tests-alleine-mehr-schaden-als-nutzen/> (besucht am 17.04.2017).
- [Sor+17] Sindre Sorhus u. a. *ava/ava: Futuristic JavaScript test runner*. 6. Mai 2017. URL: <https://github.com/ava/ava> (besucht am 14.05.2017).
- [Sta14] Ilias Stampoulis. »Börse Frankfurt: Commerzbank schießt in die Höhe«. In: *Handelsblatt* (6. Juni 2014).
- [Sym] Symetics GmbH. *AngularJS.DE -> Dirty-Checking / Updatezyklus*. URL: <https://angularjs.de/buecher/angularjs-buch/dirty-checking> (besucht am 21.04.2017).
- [The17a] The jQuery Foundation. *Cookbook / QUnit*. 2017. URL: <http://qunitjs.com/cookbook/> (besucht am 10.05.2017).
- [The17b] The jQuery Foundation. *QUnit*. 2017. URL: <https://qunitjs.com/> (besucht am 10.05.2017).
- [Tol+16] Andreas Tolfsen u. a. *Selenium*. 21. Dez. 2016. URL: <https://github.com/SeleniumHQ/selenium> (besucht am 07.05.2017).
- [Wal+17] Rick Waldron u. a. *About JSHint*. 28. Jan. 2017. URL: <http://jshint.com/about/> (besucht am 10.04.2017).
- [Wat15] Jason Watmore. *Unit Testing in AngularJS with Mocha, Chai, Sinon & ngMock*. 9. Apr. 2015. URL: <http://jasonwatmore.com/post/2015/04/09/unit-testing-in-angularjs-with-mocha-chai-sinon-ngmock> (besucht am 15.05.2017).
- [Zae12] Jörn Zaefferer. *Introduction To JavaScript Unit Testing. How To Build A Testing Framework*. 27. Juni 2012. URL: <https://www.smashingmagazine.com/2012/06/introduction-to-javascript-unit-testing/> (besucht am 15.04.2017).

Abkürzungsverzeichnis

BaFin Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht

DOM Document Object Model

HTTP Hypertext Transfer Protocol

jQuery jQuery ist eine JavaScript-Bibliothek für DOM-Manipulation, Event-Handling und Animation.

JSON JavaScript Object Notation

Mock Ein Platzhalter-Objekt, welches als Attrappe verwendet wird.

MVC Model-View-Controller, ein Entwurfsmuster

MVVM Model-View-ViewModel, ein Entwurfsmuster

REST Representational State Transfer

WebSocket WebSocket ist eine bidirektionale Erweiterung von HTTP.

Whitebox-Test Ein Whitebox-Test ist ein Test, welcher unter Kenntniss der inneren Funktionsweise entwickelt wird.

Eidesstattliche Erklärung

Eidesstattliche Erklärung zur Bachelorarbeit

Ich versichere, die von mir vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer entnommen sind, habe ich als entnommen kenntlich gemacht. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel, die ich für die Arbeit benutzt habe, sind angegeben. Die Arbeit hat mit gleichem Inhalt bzw. in wesentlichen Teilen noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Unterschrift :

Ort, Datum :

