

Bachelorarbeit

Bessere Nachvollziehbarkeit clientseitiger JavaScript-basierter Webapplikationen

**Ein Ansatz zur Verbesserung der Nach-
vollziehbarkeit von Nutzerinteraktion und
Anwendungsverhalten**

An der Fachhochschule Dortmund
im Fachbereich Informatik
Studiengang Software- und Systemtechnik, Vertiefung Softwaretechnik
erstellte Bachelorarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science

von
Marvin Kienitz
geb. am 26.04.1996
Matr.-Nr. 7097533

Betreuer:
Prof. Dr. Sven Jörges
Dipl. Inf. Stephan Müller

Dortmund, 13. November 2020

Kurzfassung

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzung	2
1.2.1	Abgrenzung	2
1.3	Vorgehensweise	3
1.4	Open Knowledge GmbH	3
2	Ausgangssituation	4
2.1	Browserumgebung	4
2.1.1	Browserprodukte	4
2.1.2	JavaScript	5
2.2	Clientbasierte Webapplikationen	6
2.2.1	JavaScript-basierte Webapplikationen	6
2.2.2	Single-Page-Applications	6
2.3	Nachvollziehbarkeit	7
2.3.1	Nutzen	7
2.3.2	Nachvollziehbarkeit bei SPAs	7
2.3.3	Browserbedingte Hürden	8
2.3.3.1	Cross-Origin Resource Sharing (CORS)	8
2.3.3.2	Content-Security-Policy	9
2.3.4	Logdaten	9
2.3.5	Fernzugriff	9
3	Methoden und Praktiken	10
3.1	Methoden	10
3.1.1	Logging	10
3.1.2	Metriken	10
3.1.3	Tracing	10
3.1.4	Fehlerberichte	11
3.2	Werkzeuge und Technologien	11
3.2.1	Kategorien	11
3.2.1.1	System Monitoring	11

Inhaltsverzeichnis

3.2.1.2	Log Management	11
3.2.1.3	Application Performance Monitoring (APM)	12
3.2.1.4	Real User Monitoring (RUM)	12
3.2.1.5	Synthetic Monitoring	12
3.2.1.6	Error/Crash Monitoring	12
3.2.2	Literatur und Fachpraxis	12
3.2.2.1	Kategorisierung	13
4	Erstellung Proof-of-Concept	14
4.1	Kriterien	14
4.2	Vorstellung der Demoanwendung	14
4.3	Konzept	14
4.3.1	Architektur	14
4.3.2	Datenverarbeitung	14
4.3.2.1	Erhebung	14
4.3.2.2	Auswertung	15
4.3.2.3	Visualisierung	15
4.4	Implementierung	15
4.4.1	Technologie-Stack	15
5	Ergebnis	16
5.1	Demonstration	16
5.2	Kriterien	16
5.3	Übertragbarkeit	16
6	Abschluss	17
6.1	Fazit	17
6.2	Ausblick	17
Anhang		18
7 Anhang		18
7.1	Studien zur Browserkompatibilität	18
Eidesstattliche Erklärung		19
Abkürzungsverzeichnis		20
Abbildungsverzeichnis		21
Tabellenverzeichnis		22
Quellcodeverzeichnis		22

Literaturverzeichnis

23

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die Open Knowledge GmbH ist als branchenneutraler Softwaredienstleister in einer Vielzahl von Branchen wie Automotive, Logistik, Telekommunikation und Versicherungs- und Finanzwirtschaft aktiv. Zu den zahlreichen Kunden der Open Knowledge GmbH gehört auch ein führender deutscher Direktversicherer.

Ein Direktversicherer bietet Versicherungsprodukte seinen Kunden ausschließlich im Direktvertrieb, d. h. vor allem über das Internet und zusätzlich auch über Telefon, Fax oder B rief an. Im Unterschied zum klassischen Versicherer verfügt ein Direktversicherer jedoch über keinen Außendienst oder Geschäftsstellen, bei denen Kunden eine persönliche Beratung bekommen können. Da das Internet der primäre Vertriebskanal ist, gehört heute ein umfassender Online-Auftritt zum Standard. Dieser besteht typischerweise aus einem Kundenportal mit der Möglichkeit Angebote für Versicherungsprodukte berechnen und abschließen zu können, sowie persönliche Daten und Verträge einzusehen.

Während in der Vergangenheit Online-Auftritte i. d. R. als Webapplikation mit serverseitigen Rendering realisiert wurden, sind heutzutage Javascript-basierte Webapplikation mit clientseitigem Rendering die Norm. Bei einer solchen Webapplikation befindet sich die gesamte Logik mit Ausnahme der Berechnung des Angebots und der Verarbeitung der Antragsdaten im Browser des Nutzers.

Im produktiven Einsatz kommt es auch bei gut getesteten Webapplikationen hin und wieder vor, dass es zu unvorhergesehenen Fehlern in der Berechnung oder Verarbeitung kommen kann. Liegt die Ursache für den Fehler im Browser, z. B. aufgrund einer ungültigen Wertkombination, ist dies eine Herausforderung. Während bei Server-Anwendungen Fehlermeldungen in den Log-Dateien einzusehen sind, gibt es für den Betreiber der Anwendung i. d. R. keine Möglichkeit die notwendigen Informationen über den Nutzer und seine Umgebung abzurufen. Noch wichtiger ist, dass er mitbekommt, wenn ein Nutzer ein Problem bei der Bedienung der Anwendung hat. Ohne eine aktive Benachrichtigung durch den Nutzer, sowie detaillierte Informationen, ist es dem Betreiber nicht möglich, Kenntnis über das Problem zu erlangen, geschweige denn dieses nachzustellen.

Dies stellt ein Kernproblem von Webapplikationen dar [Fil20]. Im Rahmen der Arbeit soll daher ein Proof-of-Concept konzipiert und umgesetzt werden, welcher dieses Kernproblem am Beispiel einer Demoanwendung löst.

1.2 Zielsetzung

Das grundlegende Ziel dieser Arbeit soll es sein, den Betreibern einer JavaScript-basierten Webapplikation die Möglichkeit zu geben das Verhalten ihrer Applikation und die Interaktionen von Nutzern. Diese Nachvollziehbarkeit soll insbesondere bei Fehlerfällen u. Ä. gewährleistet sein, aber auch in sonstigen Fällen soll eine Nachvollziehbarkeit möglich sein. Eine vollständige Überwachung der Applikation und des Nutzers (wie bpsw. bei Werbe-Tracking) sind jedoch nicht vorgesehen. Daraus ergibt sich die Forschungsfrage:

Wie sieht ein Ansatz aus um bei clientseitigen JavaScript-basierten Webapplikation den Betreibern eine Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten?

Vom Leser wird eine Grundkenntnis der Informatik in Theorie oder Praxis erwartet, aber es sollen keine detaillierten Erfahrungen in der Webentwicklung vom Leser erwartet werden. Daher sind das Projektumfeld und seine besonderen Eigenschaften zu erläutern.

Die anzustrebende Lösung soll ein Proof-of-Concept sein, welches anhand einer bestehenden Demo-Anwendung erstellt werden soll. Die Demo-Anwendung soll repräsentativ eine abgespeckte JavaScript-basierte Webapplikation darstellen, bei der die zuvor benannten Hürden zur Nachvollziehbarkeit bestehen.

Vor der eigentlichen Lösungserstellung soll jedoch die theoretische Seite beleuchtet werden, indem die Nachvollziehbarkeit sowie Methoden und Praktiken zur Erreichung dieser beschrieben werden. Es gilt aktuelle Literatur und den Stand der Technik zu erörtern, in Bezug auf die Forschungsfrage. Beim Stand der Technik sollen zwei bis drei Technologien näher betrachtet werden und beschrieben werden.

Weiterhin gilt es zu beleuchten, wie die Auswirkungen für die Nutzer der Webapplikation sind. Wurde die Leistung der Webapplikation beeinträchtigt (erhöhte Ladezeit, erhöhte Datenlast)? Werden mehr Daten von ihm erhoben und zu welchem Zweck?

Am Ende der Ausarbeitung soll überprüft werden, ob und wie die Forschungsfrage beantwortet wurde. Auch die Übertragbarkeit der erstellten Lösung (PoC) und Ergebnisse gilt es hierbei näher zu betrachten.

1.2.1 Abgrenzung

Die Demo-Anwendung wird als Single-Page-Application (SPA) realisiert, denn hier bewegt sich das Projektumfeld von der Open Knowledge GmbH. Bei der Betrachtung der Datenerhebung und -verarbeitung ist eine volle Konformität mit der DSGVO nicht zu prüfen.

Bei der Erörterung zum Stand der Technik sollen detaillierte Produktvorstellungen nicht das Ziel sein, auch ist keine umfassende Gegenüberstellung anzustreben.

1.3 Vorgehensweise

Zur Vorbereitung eines Proof-of-Concepts wird zunächst die Ausgangssituation geschildert. Speziell wird auf die Herausforderungen der Umgebung “Browser“ eingegangen, besonders in Hinblick auf die Verständnisk Gewinnung zu Interaktionen eines Nutzers und des Verhaltens der Applikation. Des Weiteren wird die Nachvollziehbarkeit als solche formal beschrieben und was sie im Projektumfeld genau bedeutet.

Darauf aufbauend werden allgemeine Methoden vorgestellt, mit der die Betreiber und Entwickler eine bessere Nachvollziehbarkeit erreichen können. Dabei werden die Besonderheiten der Umgebung beachtet und es wird erläutert, wie diese Methoden in der Umgebung zum Einsatz kommen können. Hiernach sind Ansätze aus der Literatur und Fachpraxis zu erörtern, welche eine praktische Realisierung der zuvor vorgestellten Methoden darstellen.

Auf Basis des detaillierten Verständnisses der Problemstellung und der Methoden wird nun ein Proof-of-Concept erstellt. Ziel soll dabei sein, die Nachvollziehbarkeit einer Webapplikation zu verbessern. Der Proof-of-Concept erfolgt auf Basis einer Demo-Anwendung, die im Rahmen dieser Arbeit erstellt wird.

Ist ein Proof-of-Concept nun erstellt, wird analysiert, welchen Einfluss es auf die Nachvollziehbarkeit hat und ob die gewünschten Ziele erreicht wurden (vgl. Zielsetzung).

1.4 Open Knowledge GmbH

Die Bachelorarbeit wird im Rahmen einer Werkstudententätigkeit innerhalb der Open Knowledge GmbH erstellt. Der Standortleiter des Standortes Essen, Dipl. Inf. Stephan Müller, übernimmt die Zweitbetreuung.

Die Open Knowledge GmbH ist ein branchenneutrales mittelständisches Dienstleistungsunternehmen mit dem Ziel bei der Analyse, Planung und Durchführung von Softwareprojekten zu unterstützen. Das Unternehmen wurde im Jahr 2000 in Oldenburg, dem Hauptsitz des Unternehmens, gegründet und beschäftigt heute 74 Mitarbeiter. Mitte 2017 wurde in Essen der zweite Standort eröffnet, an dem 13 Mitarbeiter angestellt sind.

Die Mitarbeiter von Open Knowledge übernehmen in Kundenprojekten Aufgaben bei der Analyse über die Projektziele und der aktuellen Ausgangssituationen, der Konzeption der geplanten Software, sowie der anschließenden Implementierung. Die erstellten Softwarelösungen stellen Individuallösungen dar und werden den Bedürfnissen der einzelnen Kunden entsprechend konzipiert und implementiert. Technisch liegt die Spezialisierung bei der Mobile- und bei der Java Enterprise Entwicklung, bei der stets moderne Technologien und Konzepte verwendet werden. Die Geschäftsführer als auch diverse Mitarbeiter der Open Knowledge GmbH sind als Redner auf Fachmessen wie der Javaland oder als Autoren in Fachzeitschriften wie dem Java Magazin vertreten.

2 Ausgangssituation

2.1 Browserumgebung

Web Browser haben sich seit der Veröffentlichung von Mosaic, einer der ersten populären Browser, im Jahr 1993 stark weiterentwickelt. Das Abrufen und Anzeigen von statischen HTML-Dokumenten wurde mit Hilfe von JavaScript um interaktive und später dynamische Inhalte erweitert. Heutzutage können in Browsern komplexe Webapplikationen realisiert werden, welche zudem unabhängig von einem speziellen Browser entwickelt werden können. Durch diese Entwicklung und die breiten Anwendungsfälle, besitzt die Umgebung “Browser“ besondere Eigenschaften, welche nachfolgend beschrieben werden.

2.1.1 Browserprodukte

Die Vielfalt an Browsern bereitet Webentwicklern immer wieder eine Herausforderung, dass ein von ihnen bereitgestelltes Produkt für die Nutzer einwandfrei funktioniert, unabhängig ihrer Browserpräferenz. Die Häufigkeit solcher Probleme, auch Cross-Browser-Incompatibilities (XBI) genannt, hat jedoch abgenommen, unter anderem erklärbar durch den Trend von offenen Web-Standards [W3C20].

Generell lässt sich feststellen, dass auch in der Literatur die Veröffentlichungen in Bezug auf (In-)Kompatibilität von Browsern abnimmt, dies ist in Abbildung 2.1 zu betrachten. Dies spricht dafür, dass das Problem von XBIs nicht mehr so präsent ist, wie zuvor.

Im Jahr 2020 gab es weitere Entwicklungen, die die Kompatibilität zwischen Browsern erhöhte. Microsoft ist beim Folgeprodukt zum Internet

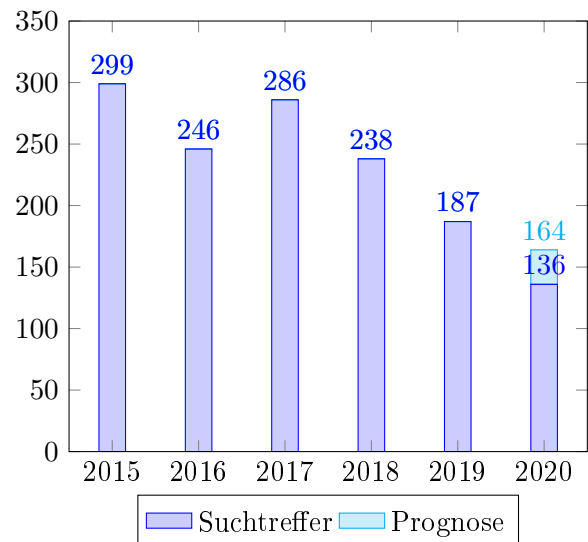


Abb. 2.1: Studien zur Browserkompatibilität, eigene Darstellung (vgl. 7.1)

Explorer, den Microsoft Edge Browser, von einer proprietären Browserengine zu Chromium gewechselt [Mic20b] und enthält somit den selben Kern wie Chrome und Opera. Zum Ende 2020 wird zudem der Support für den Internet Explorer 11 eingestellt [Mic20a]. Im September 2020 meldete Statista eine Marktverteilung von 69,71% Chrome, 8,73% Safari, 8,15% Firefox, 5,54% Edge, 2,51% Internet Explorer und 2,3% Opera [Sta20].

2.1.2 JavaScript

Als JavaScript 1997 veröffentlicht und in den NetScape Navigator integriert wurde, gab es die berechtigten Bedenken, dass das Öffnen einer Webseite dem Betreiber erlaubt Code auf dem System eines Nutzers auszuführen. Damit dies nicht eintritt, wurde der JavaScript Ausführungskontext in eine virtuelle Umgebung integriert, einer Sandbox. [Pow06]

Die JavaScript-Sandbox bei Browsern schränkt ein, dass unter anderem kein Zugriff auf das Dateisystem erfolgen kann. Auch Zugriff auf native Bibliotheken oder Ausführung von nativem Code ist nicht möglich [OKSK15]. Browser bieten dafür aber einige Schnittstellen an, die es erlauben z. B. Daten beim Client zu speichern oder auch Videos abzuspielen.

Microsoft nahm 1999 im Internet Explorer 5.0 eine neue Methode in ihre JavaScript-Umgebung auf: Ajax (Asynchronous JavaScript and XML). Ajax erlaubt die Datenabfrage von Webservern mittels JavaScript. Hierdurch wird ermöglicht, dass Inhalte auf Webseiten dynamisch abgefragt und dargestellt werden können, zuvor war hierfür ein erneuter Seitenaufruf notwendig. Das Konzept wurde kurz darauf von allen damals gängigen Browser übernommen. Erst jedoch mit der Standardisierung 2006 durch das W3C [W3C06] fand die Methode Anklang und Einsatz bei Entwicklern und ist seitdem der Grundstein für unser dynamisches und interaktives Web [Hop06].

Webapplikationen wurden nun immer beliebter, aber Entwickler klagten darüber, dass Browser die Abfragen von JavaScript nur auf dem bereitstellenden Webserver, also “same-origin“, erlauben[Ran09]. Im selben Jahr der Standardisierung von Ajax, wurde ein erster Entwurf zur Ermöglichung und Absicherung von Abrufen domänenfremder Ressourcen eingereicht [OPBW06], das sogenannte Cross-Origin Resource Sharing.

Über die Jahre wurde der JavaScript Standard immer umfangreicher und dies erlaubte Entwicklern mächtige Werkzeuge sowie Frameworks zu entwickeln, um u. A. Webapplikationen bereitzustellen. Webapplikationen konnten nun dazu verwendet werden, um einen großen Teil der Funktionalitäten eines Produktes abzubilden. Diese “clientbasierten“ Anwendungen werden im nächsten Abschnitt näher beleuchtet.

2.2 Clientbasierte Webapplikationen

2.2.1 JavaScript-basierte Webapplikationen

Eine JavaScript-basierte Webapplikation, ist eine Webapplikation, in der die Hauptfunktionalitäten über JavaScript realisiert werden. Dies umfasst unter anderem Interaktivität und dynamische Inhaltsdarstellung. Hierbei werden meist nur Grundgerüste in HTML und gegebenenfalls auch CSS bereitgestellt, und die eigentlichen Inhalte werden dynamisch mit JavaScript erstellt. Die Inhalte werden überwiegend über zusätzliche Schnittstellen der Webapplikation bereitgestellt.

2.2.2 Single-Page-Applications

Single-Page-Applications (SPAs) sind eine Submenge der JavaScript-basierten Webapplikationen und gehen bei der dynamischen Inhaltsdarstellung einen Schritt weiter. Die gesamte Anwendung wird über ein einziges HTML-Dokument und die darin referenzierten Inhalte erzeugt. Auf Basis dessen wird oftmals viel der Logik im Clientteil angesiedelt, welches die Anwendung in einen Rich- bzw. Fat-Client verwandelt.

Für das Bereitstellen einer solchen Applikation, ist unter anderem nur ein simpler Webserver notwendig und ein oder mehrere Dienste, von dem aus die SPA ihre Inhalte abrufen kann. Populäre Frameworks, um SPAs zu Erstellen, sind beispielsweise Angular [Goo20], React [Fac20] oder Vue.js [YM20].

Neben der Eigenschaft eine Alternative zu anderen Webapplikationen zu sein, bieten SPAs zudem den Stakeholdern die Möglichkeit diese als Offline-Version zur Verfügung zu stellen. Grund dafür ist, dass eine SPA bereits jedwede Logik enthält, sind zusätzlich keine externen Daten notwendig, so kann eine SPA simpel als Offline-Version bereitgestellt werden. Weiterhin steigern SPAs die User Experience (UX), indem sie unter anderem schneller agieren, da keine kompletten Seitenabrufe notwendig sind [AMWR20].

Durch diesen brachial anderen Ansatz, gibt es aber auch negative Eigenschaften. Unter anderem werden native Browserfunktionen umgangen, wie die automatisch befüllte Browserhistorie oder auch Aktionen zu Verlinkungen, wie Scrollrad-Klicks oder Lesezeichen, die mit "virtuelle" Links und Buttons nicht möglich sind. Dies ist zu Teilen auch bei JavaScript-basierten Webapplikationen der Fall. Um diese Funktionalitäten wiederherzustellen sind für die zuvor genannten Frameworks Angular, React und auch Vue.js zusätzliche Bibliotheken notwendig.

Nichtsdestotrotz kann ein jahrelanger Trend von der Adaption von Single-Page-Applications erkannt werden und eine große Auswahl an erprobten Technologien stehen heutzutage zur Verfügung [GB20].

2.3 Nachvollziehbarkeit

Nachvollziehbarkeit bedeutet allgemein, dass über ein resultierendes Verhalten eines Systems auch interne Zustände nachvollzogen werden können. Dies ist keine neue Idee, sondern fand bereits 1960 im Gebiet der Kontrolltheorie starke Bedeutung [Ká60]. Nach Freedman [Fre91] und Scrocca *et al* [STM⁺20] lässt sich diese Definition auch auf Softwaresysteme übertragen.

In dieser Arbeit wird sich mit der Nachvollziehbarkeit in speziellen Situation befasst, nämlich wenn die Stakeholder das Verhalten einer Webapplikation und die Interaktionen eines Nutzers verstehen möchten.

2.3.1 Nutzen

Tritt beispielsweise ein Softwarefehler (Bug) bei einem Nutzer auf, aber die Stakeholder erhalten nicht ausreichende Informationen, so kann der Bug ignoriert werden oder gering priorisiert und in Vergessenheit geraten. Dies geschah im Jahr 2013, als Khalil Shreath eine Sicherheitslücke bei Facebook fand und diesen bei Facebooks Bug-Bounty-Projekt Whitehat meldete [SD13]. Sein Fehlerreport wurde aufgrund mangelnder Informationen abgelehnt:

Unfortunately your report [...] did not have enough technical information for us to take action on it. We cannot respond to reports which do not contain enough detail to allow us to reproduce an issue.

Durch den Bug konnte Shreath auf die private Profilseite von Nutzern schreiben, ohne dass er mit ihnen vernetzt war. Um Aufmerksamkeit auf das Sicherheitsproblem zu erregen, hinterließ er eine Nachricht auf Facebooks Gründer und CEO Mark Zuckerbergs Profilseite. Erst hiernach nahm sich Facebooks Team dem Problem an.

2.3.2 Nachvollziehbarkeit bei SPAs

Wie zuvor in Abschnitt 2.2 “Clientbasierte Webapplikationen“ geschildert, gibt es bei Webapplikationen und insbesondere Single-Page-Applications besondere Barrikaden, die es den Stakeholdern erschwert das Verhalten einer Applikation und die Interaktionen eines Nutzers nachzuvollziehen.

Bei SPAs ist die Hauptursache, dass die eigentliche Applikation nur beim Client läuft und nur gelegentlich mit einem Backend kommuniziert.

2.3.3 Browserbedingte Hürden

2.3.3.1 Cross-Origin Resource Sharing (CORS)

Wie in der Geschichte zu JavaScript beschrieben, stellt CORS eine natürliche Entwicklung zur Erweiterung des Funktionsumfangs von JavaScript dar. Um nicht auf einen einzelnen Webserver beschränkt zu sein, wurde mit CORS diese Einschränkung eingegrenzt. Wichtiger Bestandteil von CORS ist aber eher die Absicherung vor Missbrauch, weswegen die Einschränkungen überhaupt existierte. Das Konzept von CORS stellt sicher, dass aus einer JavaScript-Umgebung heraus keine Ressourcen von Webservern angefragt werden, außer diese Webserver stimmen der Anfrage zu [MM20c].

In Abbildung 2.2 kann betrachtet werden, wie eine “cross-origin” Ajax-Anfrage nach dem Konzept von CORS gehandhabt wird. Hierbei ist zu sehen, dass wenn der Aufruf nicht standardmäßig¹ ist, der Browser eine zusätzliche OPTIONS Anfrage an den jeweiligen Webserver sendet - dies stellt einen sogenannten “Preflighted Request” dar. Wenn der Webserver in seiner Antwort auf die OPTIONS Anfrage nun bestätigt, dass die Methode, die Header und der “Content-Type” so erlaubt sind, wird auch die eigentliche Ajax-Anfrage ausgeführt. Ansonsten schlägt die Anfrage fehl und im JavaScript-Kontext ist lediglich der Fehlschlag zu sehen, ohne einen Hinweis auf die Diskrepanz bzgl. CORS.



Abb. 2.2: Flowchart über den Ablauf von Ajax-Anfragen mit CORS [Blu15]

¹Standardmäßig ist eine Anfrage, wenn 1. die Methode GET, HEAD oder POST entspricht; 2. keine eigene Header enthält; und 3. der “Content-Type” von POST-Anfragen einem der folgenden Werte entspricht: “application/x-www-form-urlencoded”, “multipart/form-data” oder “text/plain” [MM20c].

2.3.3.2 Content-Security-Policy

Eine Content-Security-Policy (CSP) definiert, welche Funktionalitäten einer Webapplikation aus geladen zur Verfügung stehen. Dies dient unter anderem dem Schutz vor Cross-Site-Scripting, indem eine Webapplikation beschränken kann, welche Funktionalitäten in JavaScript verfügbar sind und von wo aus JavaScript und CSS Skripte geladen werden dürfen [MM20b]. Weiterhin kann bei einem Versuch der Webapplikation die Regeln zu umgehen Bericht darüber erstattet werden.

2.3.4 Logdaten

Ähnlich wie bei anderen Umgebungen gibt es eine standardisierte Log- bzw. Konsolenausgabe für die JavaScript Umgebung [MM20a]. Diese Ausgabe ist aber für den Standard-Benutzer eher unbekannt und der Zugriff darauf sowie die Funktionen dessen können je nach Browser variieren. Deswegen kann in den meisten Fällen nicht darauf gehofft werden, dass die Nutzer dieses Log bereitstellen. Zusätzlich ist es durch die zuvor beschriebenen Härtungsmaßnahmen von Browsern nicht möglich das Log in eine Datei zu schreiben.

Eine Automatisierung der Logdatenerhebung ist zudem auch nicht trivial, denn die Daten, welche in die Ausgabe geschrieben werden, sind nicht aus der JavaScript Umgebung aus lesbar. Alternativ können die Daten selber erhoben oder abgefangen werden. Hierbei besteht aber weiterhin die Hürde, wie die Daten an die Stakeholder gelangen.

2.3.5 Fernzugriff

Ein weiterer Punkt, der die Umgebung "Browser" von anderen unterscheidet, ist dass die Stakeholder sich normalerweise nicht auf die Systeme der Nutzer schalten können. Bei Experten Anwendungen ginge dies vielleicht, aber wenn eine Webapplikation für den offenen Markt geschaffen ist, sind die Nutzer zahlreich und unbekannt.

Weiterhin gibt es standardmäßig keine Funktionalität wie z. B. das Remote Application Debugging [Ora20], welches Java unterstützt.

3 Methoden und Praktiken

In diesem Kapitel soll beschrieben werden, wie eine Nachvollziehbarkeit in Webapplikationen erreicht werden kann. Spezielle Methoden und Praktiken sollen vorgestellt und beleuchtet werden.

3.1 Methoden

3.1.1 Logging

Folgende Fragen sollen zur Methode beantwortet werden

1. *Gibt es Besonderheiten zu Logging in anderen Projekten (Backend vs. Frontend)?*
2. *Wie können Logs an einen auswertenden Stakeholder gelangen??*
3. *Welches Verhalten kann hiermit aufgedeckt/nachvollziehbar gemacht werden?*

3.1.2 Metriken

Folgende Fragen sollen zur Methode beantwortet werden

1. *Welche Metriken können definiert?*
2. *Wie können Metriken definiert werden?*
3. *Welches Verhalten kann hiermit aufgedeckt/nachvollziehbar gemacht werden?*

3.1.3 Tracing

Folgende Fragen sollen zur Methode beantwortet werden

1. *Welche Nutzerinteraktionen sind zu tracen?*
2. *Welches Verhalten kann hiermit aufgedeckt/nachvollziehbar gemacht werden?*

3.1.4 Fehlerberichte

Folgende Fragen sollen zur Methode beantwortet werden

1. *Was genau sind Fehlerberichte (=Bug-Reports)*
2. *Welches Verhalten kann hiermit aufgedeckt/nachvollziehbar gemacht werden?*

3.2 Werkzeuge und Technologien

Basierend auf dem Grundwissen über die Methoden und Praktiken, soll nun der Stand der Technik erörtert werden. Hierbei sollen Werkzeuge und Technologien und ihre Ansätze hervorgehoben werden und mit Hilfe welcher Methoden sie welches Ziel erreichen.

Wie in der Zielsetzung definiert sollen hier zwei bis drei Technologien näher vorgestellt werden.

Weiterhin könnte beleuchtet werden, wie ähnliche Herausforderungen bei anderen „Fat-Client“-Lösungen (also nicht SPAs) angegangen werden, und kann man hier vielleicht etwas lernen oder übertragen (und wenn nicht, warum nicht)?

In der Fachpraxis haben sich einige Technologien über die Jahre entwickelt und etabliert, die eine verbesserte Nachvollziehbarkeit als Ziel haben. Es lassen sich zudem verschiedene Funktionskategorien festlegen, auf die sich die jeweiligen Technologien konzentrieren. Für das Projektumfeld von Webapplikationen konnten folgende Kategorien identifiziert werden.

3.2.1 Kategorien

3.2.1.1 System Monitoring

System Monitoring beschäftigt sich mit der Überwachung der notwendigen Systeme und Dienste in Bezug auf Hardware- und Softwareressourcen. Es handelt sich hierbei um ein projektunabhängiges Monitoring, welches sicherstellen soll, dass die Infrastruktur funktionstüchtig bleibt.

3.2.1.2 Log Management

Log Management umfasst die Erfassung, Speicherung, Verarbeitung und Analyse von Logdaten von Anwendungen. Weiterhin bieten Werkzeuge hierbei oftmals Such- und Meldefunktionen.

3.2.1.3 Application Performance Monitoring (APM)

Beim Application Performance Monitoring werden Daten innerhalb von Applikationen gesammelt, die Rückschlüsse auf die Performanz von bspw. Transaktionen geben sollen [?]. Mit diesen Daten können dann Regressionen der Performanz, in Aspekten wie Zeitaufwand oder Ressourcennutzung, festgestellt werden.

3.2.1.4 Real User Monitoring (RUM)

Real User Monitoring beschäftigt sich mit dem Mitschneiden von allen Nutzerinteraktionen mit bspw. einer Webapplikation. Hiermit lässt sich nachvollziehen, wie ein Nutzer die Anwendung verwendet. RUM kann dazu verwendet werden um Herauszufinden, wie ein Nutzer zu einem Zustand gelangt ist. Aber es können auch ineffiziente Klickpfade hierdurch festgestellt werden und darauf basierend UX Verbesserungen vorgenommen werden.

3.2.1.5 Synthetic Monitoring

Beim Synthetic Monitoring werden Endnutzerszenarien simuliert, um zu prüfen und sicherzustellen, dass diese Szenarien wie gewünscht ablaufen. Hierbei kann auf Aspekte wie Funktionalität, Verfügbarkeit und auch verstrichene Zeit kontrolliert werden.

3.2.1.6 Error/Crash Monitoring

Das Error Monitoring konzentriert sich auf das Erfassen und Melden von Fehlern. Es werden oftmals neben dem eigentlichen Fehler auch Aspekte vom RUM und Logging gemeldet, um mehr Kontextinformationen zu liefern.

3.2.2 Literatur und Fachpraxis

Wie zuvor genannt gibt es einige Technologien, die auf eine verbesserte Nachvollziehbarkeit abzielen. Die zuvor genannte Kategorisierung ist hilfreich bei Funktionalitäten, aber nicht um gesamte Technologien einzuordnen. Denn meistens weisen Technologien eine Vielzahl der Funktionsumfänge auf. Folgend werden einige Technologien kurz vorgestellt und am Ende wird eine Übersicht erstellt, indem für den Leser erkennbar wird, welche Technologie welchen Funktionsumfang aufweist.

3.2.2.1 Kategorisierung

Um diese Technologien besser einschätzen und bewerten zu können, werden sie folgend kategorisiert. In jeder Kategorie erhält die jeweilige Technologie eine Bewertung entsprechend nach Tabelle 3.1. Die Einordnung erfolgt auf der Einschätzung des Autors in Bezug auf eigener Erfahrung sowie Literatur und den Produktbeschreibungen.

Bei Technologien, die selber Daten erheben (alle Kategorien außer Log Management), wurde jeweils die Webintegration betrachtet.

Symbol	Bedeutung
K	Eine K ernfunktionalität, bei der der spezielle Funktionsumfang hoch und ausgereift ist.
F	Eine F unktionalität, die auch unterstützt wird.
T	Eine T eilfunktionalität, sie ist nicht funktionsreich und/oder nicht so ausgereift.
	Eine leere Zelle bedeutet, dass diese Funktionalität nicht unterstützt wird.

Tab. 3.1: Legende zur Kategorisierung

Nun kann man in Tabelle 3.2 betrachten, welchen Fokus die jeweiligen Technologien im Detail besitzen.

Technologie	System Monitoring	Log Management	APM	RUM	Synthetic Monitoring	Error Monitoring
AppDynamics	x	x	x	x	x	x
New Relic	K	T	K	K	F	F
Dynatrace	K		K	K	F	F
Sentry						K
Airbrake						K
Elastic Stack	T	K	T			T
Splunk		K				

Tab. 3.2: Kategorisierung der vorgestellten Technologien

4 Erstellung Proof-of-Concept

4.1 Kriterien

Hier soll definiert werden, welche Kriterien der PoC erfüllen soll und wenn möglich sollen zusätzlich Möglichkeiten zur Überprüfung dieser Kriterien definiert werden.

4.2 Vorstellung der Demoanwendung

In diesem Abschnitt soll die Demoanwendung vorgestellt werden, anhand dessen das Proof-of-Concept erstellt wird. Damit das Proof-of-Concept erstellt werden kann, muss die Demoanwendung die zuvor beschriebenen Probleme aufweisen, hierbei sollen die Probleme möglichst realitätsnah sein und nicht frei erfunden.

4.3 Konzept

4.3.1 Architektur

Hier soll die grobe Architektur geplant werden, welche Komponente es gibt und wie diese kommunizieren sollen.

4.3.2 Datenverarbeitung

4.3.2.1 Erhebung

Wie werden die Daten erhoben (Nennung der verwendeten Methoden!)? Wie gelangen die Daten an eine auswertende Komponente?

4.3.2.2 Auswertung

Wie werden die Daten zusammengefasst und ausgewertet? Wie gelangt das Ergebnis an die darstellende Komponente?

4.3.2.3 Visualisierung

Wie werden den Stakeholdern die Informationen präsentiert?

4.4 Implementierung

Auf Basis des Konzeptes soll nun eine Implementierung erfolgen.

4.4.1 Technologie-Stack

5 Ergebnis

5.1 Demonstration

Nachdem nun eine Implementierung steht, soll die Erweiterung auf nicht-technische Weise veranschaulicht werden. Hier soll dargestellt werden, wie die Nachvollziehbarkeit nun verbessert worden ist.

5.2 Kriterien

Die zuvor definierten Kriterien in 4.1 sollen hier überprüft werden.

5.3 Übertragbarkeit

Wie gut lassen sich die ermittelten Ergebnisse im PoC auf andere Projekte im selben Umfeld übertragen?

6 Abschluss

6.1 Fazit

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

6.2 Ausblick

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

7 Anhang

7.1 Studien zur Browserkompatibilität

Im Unterabschnitt 2.1.1 wurde die Anzahl an Studien zur Browserkompatibilität dargestellt. Die Daten hierfür wurden über die Literatursuchmaschine “Google Scholar“ am 29.10.2020 abgerufen

Für die Suche wurde folgender Suchterm benutzt:

`"cross browser" compatibility|incompatibility|inconsistency|XBI`

Die Trefferanzahl für ein spezielles Jahr wurde jeweils als Datenpunkt benutzt. Dies soll dazu dienen, um einen ungefähren Trend der Literatur zu erkennen. Der Prognosewert fürs Jahr 2020 wurde pauschal so berechnet, dass in den letzten zwei Monaten proportional gleich viele Veröffentlichungen erscheinen, also: $\left\lceil \frac{136 \cdot 12}{10} \right\rceil$

Jahr	Treffer
2015	299
2016	246
2017	286
2018	238
2019	187
2020	136
2020 (Prognose)	164

Tab. 7.1: Suchtreffer zu Studien über Browserkompatibilität

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne die Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Schriften entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise im Rahmen einer anderen Prüfung noch nicht vorgelegt worden.

Dortmund, am
(Unterschrift)

Abkürzungs- und Erklärungsverzeichnis

Ajax Asynchronous JavaScript and XML

CDN Content Delivery Network

Clientseitiges Rendering Der Server stellt dem Client lediglich die Logik und die notwendigen Daten bereit, die eigentliche Inhaltsgenerierung geschieht im Client. Für ein Beispiel siehe Unterabschnitt 2.2.2

CORS Cross-Origin Resource Sharing

CSP Content-Security-Policy

PoC Proof-of-Concept

Serverseitiges Rendering Die darzustellenden Inhalte, werden beim Server generiert und der Client stellt diese dar. Beispielsweise sind Anwendungen mit PHP oder auch eine Java Web Application

W3C World Wide Web Consortium

XHR XMLHttpRequest

XSS Cross-Site-Scripting

Abbildungsverzeichnis

2.1	Studien zur Browserkompatibilität, eigene Darstellung (vgl. 7.1)	4
2.2	Flowchart über den Ablauf von Ajax-Anfragen mit CORS [Blu15]	8

Tabellenverzeichnis

3.1	Legende zur Kategorisierung	13
3.2	Kategorisierung der vorgestellten Technologien	13
7.1	Suchtreffer zu Studien über Browserkompatibilität	18

Quellcodeverzeichnis

Literaturverzeichnis

- [AMWR20] ASROHAH, Hanun ; MILAD, Mohammad K. ; WIBOWO, Achmad T. ; RHO-FITA, Erry I.: Improvement of academic services using mobile technology based on single page application. In: *Telfor Journal* 12 (2020), Nr. 1, S. 62–66
- [Blu15] BLUESMOON: *Flowchart showing Simple and Preflight XHR.svg*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flowchart_showing_Simple_and_Preflight_XHR.svg, 2015. – [Online; abgerufen am 09.11.2020]
- [Fac20] FACEBOOK INC.: *React - A JavaScript library for building user interfaces*. <https://reactjs.org>, 2020. – [Online; abgerufen am 12.10.2020]
- [Fil20] FILIPE, Ricardo Ângelo S.: *Client-Side Monitoring of Distributed Systems*, Universidade de Coimbra, Diss., 2020
- [Fre91] FREEDMAN, Roy S.: Testability of software components. In: *IEEE transactions on Software Engineering* 17 (1991), Nr. 6, S. 553–564
- [GB20] GREIF, Sacha ; BENITTE, Raphaël: *The State of JavaScript 2019*. <https://2019.stateofjs.com/>, 2020. – [Online; abgerufen am 29.10.2020]
- [Goo20] GOOGLE LLC: *Angular*. <https://angular.io>, 2020. – [Online; abgerufen am 12.10.2020]
- [Hop06] HOPMANN, Alex: *The story of XMLHTTP*. <https://web.archive.org/web/20070623125327/http://www.alexhopmann.com/xmlhttp.htm>, 2006. – [Online; abgerufen am 27.10.2020]
- [Ká60] KÁLMÁN, Rudolf E.: On the general theory of control systems. In: *Proceedings First International Conference on Automatic Control, Moscow, USSR*, 1960, S. 481–492
- [Mic20a] MICROSOFT: *Microsoft 365 apps say farewell to Internet Explorer 11 and Windows 10 sunsets Microsoft Edge Legacy*. <https://techcommunity.microsoft.com/t5/microsoft-365-blog/microsoft-365-apps-say-farewell-to-internet-explorer-11-and/ba-p/1591666>, 2020. – [Online; abgerufen am 29.10.2020]

- [Mic20b] MICROSOFT: *New year, new browser – The new Microsoft Edge is out of preview and now available for download.* <https://blogs.windows.com/windowsexperience/2020/01/15/new-year-new-browser-the-new-microsoft-edge-is-out-of-preview-and-now-available/>, 15, 2020. – [Online; abgerufen am 29.10.2020]
- [MM20a] MOZILLA ; MITWIRKENDE individuelle: *console - Web APIs / MDN.* <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Console>, 2020. – [Online; abgerufen am 19.10.2020]
- [MM20b] MOZILLA ; MITWIRKENDE individuelle: *Content Security Policy (CSP) - HTTP / MDN.* <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/CSP/>, 2020. – [Online; abgerufen am 15.10.2020]
- [MM20c] MOZILLA ; MITWIRKENDE individuelle: *Cross-Origin Resource Sharing (CORS) - HTTP / MDN.* <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/CORS>, 2020. – [Online; abgerufen am 15.10.2020]
- [OKSK15] OREN, Yossef ; KEMERLIS, Vasileios P. ; SETHUMADHAVAN, Simha ; KEROMYTIS, Angelos D.: The spy in the sandbox: Practical cache attacks in javascript and their implications. In: *Proceedings of the 22nd ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, 2015, S. 1406–1418
- [OPBW06] OSHRY, Matt ; PORTER, Brad ; BODELL, Michael ; W3C, World Wide Web C.: *Authorizing Read Access to XML Content Using the <?access-control?> Processing Instruction 1.0.* <https://www.w3.org/TR/2006/WD-access-control-20060517/>, 2006. – [Online; abgerufen am 27.10.2020]
- [Ora20] ORACLE: *Java Debug Wire Protocol.* <https://download.java.net/java/GA/jdk14/docs/specs/jdwp/jdwp-spec.html>, 2020. – [Online; abgerufen am 23.10.2020]
- [Pow06] POWERS, Shelley: *Learning JavaScript.* O'Reilly Media Inc., 2006
- [Ran09] RANGANATHAN, Arun: *cross-site xmlhttprequest with CORS.* <https://hacks.mozilla.org/2009/07/cross-site-xmlhttprequest-with-cors/>, 2009. – [Online; abgerufen am 27.10.2020]
- [SD13] SHREATEH, Khalil ; DEWEY, Caitlyn: Mark Zuckerberg's Facebook page was hacked by an unemployed Web developer. In: *The Washington Post* (2013), Aug
- [Sta20] STATISTA: *Global market share held by leading desktop internet browsers from January 2015 to June 2020.* <https://www.statista.com/statistics/544400/market-share-of-internet-browsers-desktop/>, September 2020. – [Online; abgerufen am 29.10.2020]

- [STM⁺20] SCROCCA, Mario ; TOMMASINI, Riccardo ; MARGARA, Alessandro ; VALLE, Emanuele D. ; SAKR, Sherif: The Kaiju Project: Enabling Event-Driven Observability. In: *Proceedings of the 14th ACM International Conference on Distributed and Event-based Systems*, 2020, S. 85–96
- [W3C06] W3C, World Wide Web C.: *The XMLHttpRequest Object*. <https://www.w3.org/TR/2006/WD-XMLHttpRequest-20060405/>, 2006. – [Online; abgerufen am 27.10.2020]
- [W3C20] W3C, World Wide Web C.: *About W3C Standards*. <https://www.w3.org/standards/about.html>, 2020. – [Online; abgerufen am 27.10.2020]
- [YM20] YOU, Evan ; MITWIRKENDE individuelle: *Vue.js*. <https://vuejs.org/>, 2020. – [Online; abgerufen am 12.10.2020]