

Thesis

Nachvollziehbarkeit von Nutzerinteraktion und Anwendungsverhalten am Beispiel JavaScript-basierter Webanwendungen

An der Fachhochschule Dortmund
im Fachbereich Informatik
Studiengang Software- und Systemtechnik
Vertiefung Softwaretechnik
erstellte Thesis
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, 17. Februar 2021

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	Single-Page-Applications	6
2.3	Nachvollziehbarkeit	7
2.3.1	Nachvollziehbarkeit bei SPAs	7
2.3.2	Browserbedingte Hürden	7
2.3.2.1	Cross-Origin Resource Sharing (CORS)	7
2.3.2.2	Content-Security-Policy	8
2.3.3	Logdaten	9
2.3.4	Fernzugriff	9
3	Methoden und Praktiken	10
3.1	Methoden für eine bessere Nachvollziehbarkeit	10
3.1.1	Logging	10
3.1.2	Metriken	11
3.1.3	Tracing	11
3.1.4	Fehlerberichte	12
3.2	Praktiken	12
3.2.1	System Monitoring	13
3.2.2	Log Management	13
3.2.3	Application Performance Monitoring (APM)	13
3.2.4	Real User Monitoring (RUM)	14
3.2.5	Error Monitoring	14

3.2.6	Session-Replay	14
3.2.7	OpenTelemetry	15
3.3	Werkzeuge und Technologien	17
3.3.1	Technologien	17
3.3.1.1	Recherche	17
3.3.1.2	Übersicht	19
3.3.1.3	Kategorisierung	21
3.3.1.4	Bewertung	24
3.3.1.5	Funktionalitäten	24
3.3.1.6	Open Source	24
3.3.1.7	Standardisierung	24
3.3.1.8	Flexibilität	24
4	Erstellung Proof-of-Concept	25
4.1	Anforderungen	25
4.1.1	Definitionen	25
4.1.2	Anforderungsanalyse	26
4.1.3	Anforderungsliste	27
4.1.3.1	Grundanforderungen	27
4.1.3.2	Funktionsumfang	28
4.1.3.3	Eigenschaften	30
4.1.3.4	Partnersysteme	30
4.2	Vorstellung der Demoanwendung	32
4.2.1	Verhaltensdefinition	32
4.2.2	Backend	36
4.2.3	Frontend	38
4.2.3.1	Warenkorb	38
4.2.3.2	Rechnungsadresse	39
4.2.3.3	Lieferdaten	40
4.2.3.4	Zahlungsdaten	41
4.2.3.5	Bestellübersicht	42
4.2.3.6	Bestellbestätigung	43
4.2.4	Fehlerszenarien	44
4.2.4.1	„Keine Übersetzungen“	44
4.2.4.2	„Gültige Straßen sind ungültig“	45
4.2.4.3	„Gültige Städte sind ungültig“	45
4.2.4.4	„Ungültige Adressen sind gültig“	45
4.2.4.5	„Vor- und Nachnamen werden abgeschnitten“	45
4.2.4.6	„Falsche Zahlungsart“	46
4.2.4.7	„Lange Verarbeitung“	46
4.3	Konzept	46
4.3.1	Datenverarbeitung	46

Inhaltsverzeichnis

4.3.1.1	Erhebung	47
4.3.1.2	Auswertung	47
4.3.1.3	Präsentation	47
4.3.2	Architektur	48
4.3.3	Technologie-Stack	49
4.3.4	Übertragbarkeit	51
4.4	Implementierung	52
4.4.1	Backend	52
4.4.2	Frontend	53
4.4.2.1	Traces und Metriken	53
4.4.2.2	Logging	56
4.4.2.3	Fehler	58
4.4.2.4	Session-Replay	59
4.4.2.5	Datenweiterleitung im „Backend4Frontend“	60
5	Ergebnis	61
5.1	Demonstration	61
5.2	Kriterien	61
5.3	Übertragbarkeit	61
5.4	Einschätzung von anderen Entwicklern (optional)	61
6	Abschluss	63
6.1	Fazit	63
6.2	Ausblick	63
	Anhang	64
7	Anhang	64
7.1	Studien zur Browserkompatibilität	64
	Eidesstattliche Erklärung	65
	Abkürzungsverzeichnis	66
	Abbildungsverzeichnis	68
	Tabellenverzeichnis	69
	Quellcodeverzeichnis	69
	Literaturverzeichnis	70

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 Brief an. Im Unterschied zum klassischen Versicherer verfügt ein Direktversicherer jedoch über keinen Außendienst oder Geschäftsstellen, bei denen Kunden eine persönliche Beratung erhalten. Da das Internet der primäre Vertriebskanal ist, ist heute ein umfassender Online-Auftritt die Norm. Dieser besteht typischerweise aus einem Kundenportal mit der Möglichkeit Angebote für Versicherungsprodukte berechnen und abschließen zu können, sowie persönliche Daten und Verträge einsehen und ändern zu können.

Während in der Vergangenheit Online-Auftritte i. d. R. als Webanwendung mit serverseitigen Rendering realisiert wurden, sind heutzutage Javascript-basierte Webanwendungen mit clientseitigem Rendering die Norm [WC14]. Bei einer solchen Webanwendung befindet sich ein Großteil der Logik im Browser des Nutzers, bspw. wird der Nutzer durch einen komplexen Wizard geführt und erst bei Absenden des letzten Formulars geschieht eine Interaktion mit einem Server.

Im produktiven Einsatz kommt es auch bei gut getesteten Webanwendungen hin und wieder vor, dass es zu unvorhergesehenen Fehlern in der Berechnung oder Verarbeitung kommt. 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 Webanwendungen 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 Webanwendung die Möglichkeit zu geben, das Verhalten ihrer Anwendung und die Interaktionen von Nutzer nachzuvollziehen. Diese Nachvollziehbarkeit soll insbesondere bei Fehlerfällen u. Ä. gewährleistet sein, ist aber auch in sonstigen Fällen zu erstreben, wie z. B. wenn die Betreiber nachvollziehen wollen, welche Interaktionen der Nutzer getätigt hat. Eine vollständige Überwachung der Anwendung und des Nutzers (wie bspw. bei Werbe-Tracking) sind jedoch nicht vorgesehen. Daraus ergibt sich die Forschungsfrage:

Wie sieht ein Ansatz aus, um den Betreibern von clientseitigen JavaScript-basierten Webanwendungen 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 eine, zu erstellen, Demoanwendung erweitert. Die Demoanwendung soll repräsentativ eine abgespeckte JavaScript-basierte Webanwendung darstellen, bei der die zuvor benannten Hürden zur Nachvollziehbarkeit bestehen.

Weiterhin gilt es zu beleuchten, wie die Auswirkungen für die Nutzer der Webanwendung sind. Wurde die Leistung der Webanwendung 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 Demoanwendung wird als Single-Page-Application (SPA) [JSD15] realisiert, denn hier bewegt sich das Projektumfeld von der Open Knowledge GmbH. Bei der Datenerhebung und -verarbeitung sind datenschutzrechtliche Aspekte nicht näher zu betrachten. Bei der Betrachtung von Technologien aus der Wirtschaft ist eine bewertende Gegenüberstellung nicht das Ziel.

1.3 Vorgehensweise

Um das Ziel dieser Arbeit, also ein Proof-of-Concept zu erstellen, welches die Nachvollziehbarkeit einer bestehenden Anwendung erhöht, zu erreichen, wird zunächst die theoretische Seite des Forschungsfeldes beleuchtet. Hierzu gehört eine nähere Betrachtung der Umgebung „Browser“ und von Webanwendungen, sowie gilt es die Nachvollziehbarkeit zu definieren und im Hinblick auf SPAs zu erläutern.

Darauf aufbauend sind aktuelle Ansätze zur verbesserten Nachvollziehbarkeit zu recherchieren und zu beschreiben. Speziell sollen hierbei die allgemeinen übergreifenden Methoden und die tatsächlichen angewandten Praktiken differenziert beschrieben werden. Hierbei ist u. A. der Stand der Technik aus Wirtschaft und Literatur zu erläutern, um darauffolgend und auf Basis dessen ein Proof-of-Concept zu erstellen.

Bevor jedoch der PoC implementiert wird, soll ein Konzept erstellt werden, welches darlegt, wie der PoC eine verbesserte Nachvollziehbarkeit erreicht. Ist nun das Konzept erstellt, gilt es dieses auf eine SPA anzuwenden und das Proof-of-Concept zu erstellen. Im Anschluss an die Implementierung gilt es diese kritisch zu bewerten, einerseits ob die Forschungsfrage beantwortet werden konnte und andererseits in Aspekten wie Übertragbarkeit und Auswirkungen für den Nutzer.

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 [Kop14]. Das Abrufen und Anzeigen von statischen HTML-Dokumenten wurde mithilfe von JavaScript um interaktive und später um dynamische Inhalte erweitert. Heutzutage können Entwickler komplexe Webanwendungen realisieren [JSD15], welche zudem browserunabhängig entwickelt werden können. Durch diese Entwicklung und die vielseitigen 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, nämlich ob ein von ihnen bereitgestelltes Produkt für die Nutzer einwandfrei funktioniert, unabhängig der Browserpräferenz des Nutzers. Die Häufigkeit solcher Probleme, auch Cross-Browser-Incompatibilities (XBI) [CPO14] genannt, hat jedoch abgenommen. Dies ist unter anderem durch den Trend von offenen Web-Standards, wie die des W3C [W3C20], erklärbar.

Generell lässt sich feststellen, dass auch in der Literatur die Veröffentlichungen in Bezug auf (In-)Kompatibilität von Browsern abnehmen, wie in Abbildung 2.1 zu betrachten. Dies spricht dafür, dass das Problem von XBIs weniger präsent ist als zuvor. Somit wird die besondere Hürde, die XBIs darstellen, nicht als eine relevante Hürde in dieser Arbeit angesehen.

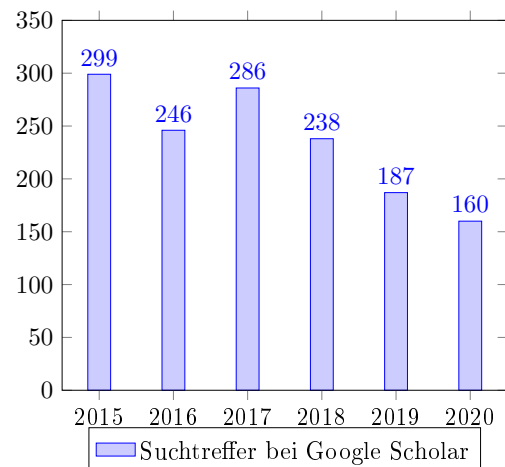


Abb. 2.1: Studien zur Browserkompatibilität, eigene Darstellung (vgl. 7.1)

Im Jahr 2020 gab es weitere Entwicklungen, die die Kompatibilität zwischen Browsern erhöhte. Microsoft ist beim Folgeprodukt zum Internet Explorer, dem Microsoft Edge Browser, von einer proprietären Browser-Engine zu Chromium gewechselt [Mic20b] und verwendet denselben Kern wie Chrome und Opera. Ende 2020 wurde zudem der Support für den Internet Explorer 11 eingestellt [Mic20a]. Im Januar 2021 meldete StatCounter [Sta21f] eine Marktverteilung bei Desktop-Browsern von 65,96% Chrome, 10,43% Safari, 8,39% Firefox, 7,43% Edge, 2,59% Opera und 2,54% Internet Explorer.

2.1.2 JavaScript

Als JavaScript 1997 veröffentlicht und in den NetScape Navigator integriert wurde, gab es die 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 sog. Sandbox [Pow06].

Die JavaScript-Sandbox bei Browsern schränkt u. A. den Zugriff auf das Dateisystem ein. Auch Zugriff auf native Bibliotheken oder Ausführung von nativem Code ist nicht möglich [OKSK15]. Browser bieten darüber hinaus aber einige Schnittstellen an, die es erlauben z. B. Daten beim Client zu speichern oder auch Videos abzuspielen.

1999 nahm Microsoft im Internet Explorer 5.0 eine neue Methode in ihre JavaScript-Umgebung auf: Ajax (Asynchronous JavaScript and XML) [MM21]. Ajax erlaubt die Datenabfrage von Webservern mittels JavaScript. Hierdurch können Inhalte auf Webseiten dynamisch abgefragt und dargestellt werden, wofür zuvor ein weiterer Seitenaufruf notwendig war. Das Konzept wurde kurz darauf von allen damals gängigen Browsern übernommen. Jedoch fand erst mit der Standardisierung 2006 durch das W3C [W3C06] die Methode bei Entwicklern Anklang und ist seitdem der Grundstein für unser dynamisches und interaktives Web [DCZ11].

Durch dies wurden Webanwendungen immer beliebter, aber Entwickler klagten darüber, dass Browser die Abfragen von JavaScript nur auf dem bereitstellenden Webserver, also „same-origin“, erlauben [Ran09]. Um dies zu ermöglichen, wurde im selben Jahr der Standardisierung von Ajax ein erster Entwurf zur Absicherung von Abrufen domänenfremder Ressourcen eingereicht [OPBW06], das sogenannte Cross-Origin Resource Sharing.

Über die Jahre wurde der JavaScript-Standard immer umfangreicher, was Entwicklern erlaubte mächtige Werkzeuge sowie Frameworks zu entwickeln, welche die Erstellung von Webanwendungen vereinfachen. Mit Webanwendungen war es nun möglich, einen großen Teil der Funktionalitäten eines Produktes abzubilden. Diese „clientbasierten“ Anwendungen werden im nächsten Abschnitt näher beleuchtet.

2.2 Single-Page-Applications

Single-Page-Applications (SPAs) sind eine Teilmenge von JavaScript-basierten Webanwendungen (JS WebApps). Bei letzterem handelt es sich um Webanwendungen, die in JavaScript realisiert wurden und welche den Browser als Laufzeitumgebung verwenden [Kie10]. Die mit JavaScript realisierten Funktionen umfassen u. A. Interaktivität und dynamische Inhaltsdarstellung. Hierbei werden meist nur Grundgerüste der Anwendung in HTML und CSS bereitgestellt, jedoch werden die eigentlichen Inhalte dynamisch mit JavaScript erstellt. Die Inhalte werden auch über zusätzliche Schnittstellen der Webanwendung zu Partnersystemen bereitgestellt.

SPAs gehen bei der dynamischen Inhaltsdarstellung jedoch einen Schritt weiter als JS WebApps [JSD15]. Die gesamte Anwendung wird über ein einziges HTML-Dokument und die darin referenzierten Inhalte erzeugt. Oftmals wird auf Basis dessen ein erheblicher Teil der Logik auf Clientseite umgesetzt, was die Anwendung zu einem Rich- bzw. Fat-Client macht.

Für das Bereitstellen einer solchen Anwendung ist meist nur ein simpler Webserver ausreichend und ein oder mehrere Dienste, von denen aus die SPA ihre Inhalte abrufen kann. Populäre Frameworks zur Realisierung von SPAs sind beispielsweise Angular [Goo20], React [Fac20b] oder Vue.js [YM20].

SPAs bieten zudem durch ihre clientbasierte Herangehensweise Stakeholdern die Möglichkeit, die Anwendung als Offline-Version bereitzustellen. Sind neben der Logik keine externen Daten notwendig oder wurden diese bereits abgerufen und gecached, so kann eine SPA auch „offline“ von Benutzern verwendet werden. Weiterhin steigern SPAs die User Experience (UX), indem sie u. A. schneller agieren, da keine kompletten Seitenaufrufe notwendig sind [AMWR20].

Durch diesen grundsätzlich anderen Ansatz gibt es aber auch negative Eigenschaften. Unter anderem werden native Browserfunktionen umgangen, wie die automatisch befüllte Browserhistorie, denn es werden keine neuen HTML-Dokumente angefragt. Weiterhin leiden „virtuelle“ Verlinkungen und Buttons darunter, dass sie nicht alle Funktionen unterstützen, die normale HTML-Elemente aufweisen. Um dies und andere verwandte Probleme zu beheben, besitzen die zuvor genannten Frameworks spezielle Implementierungen oder ggf. muss eine zusätzliche Bibliothek herangezogen werden, wie z. B. die jeweiligen Router-Bibliotheken.

Nichtsdestotrotz ist ein jahrelanger Trend von der Einführung von Single-Page-Applications zu erkennen, heutzutage steht eine große Auswahl an erprobten Technologien zur Verfügung [GB20].

2.3 Nachvollziehbarkeit

Neben der Umgebung Browser beschäftigt sich die Arbeit hauptsächlich mit der 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 und wird dabei mit „Observability“ bezeichnet. Scrocca adaptiert dabei die von Majors [Maj18] genannte Definition:

„Observability for software is the property of knowing what is happening inside a distributed application at runtime by simply asking questions from the outside and without the need to modify its code to gain insights.“

Insbesondere in der Wirtschaft hat sich der Begriff der Observability etabliert [Fra20] [Rel21]. Hierbei lässt sich die Observability als eine Weiterentwicklung des klassischen Monitoring von Software betrachten [Wat18]. Ziel dabei ist es Anwendungen und Systeme weitestgehend beobachtbar zu machen und darauf basierend Betreibern und Entwicklern zu ermöglichen, auch aus unbekannten Situationen Rückschlüsse über die Anwendung oder das System ziehen zu können [?].

2.3.1 Nachvollziehbarkeit bei SPAs

Speziell in dieser Arbeit wird die Nachvollziehbarkeit bei Webanwendungen näher betrachtet. Wie zuvor in Abschnitt 2.2 geschildert, gibt es bei Webanwendungen und insbesondere Single-Page-Applications besondere Eigenschaften, die es den Betreibern und Entwicklern erschweren das Verhalten ihrer Anwendung und die Interaktionen eines Nutzers nachzuvollziehen. Meist lassen sich aus Sicht der Betreiber nur die Kommunikationsaufrufe der Anwendung zum Backend nachvollziehen, aber nicht wie es dazu gekommen ist und wie diese Daten weiterverarbeitet werden. Somit ist eine gängige SPA nicht gut nachvollziehbar.

2.3.2 Browserbedingte Hürden

2.3.2.1 Cross-Origin Resource Sharing (CORS)

Wie aus der Geschichte zu JavaScript zu sehen ist, entwickelte CORS sich aus dem Wunsch von Entwicklern, nicht auf einen einzelnen Webserver beschränkt zu sein. Diese Einschränkung existierte, um Nutzer vor Missbrauch zu schützen. CORS hebt diese Einschränkung teilweise auf, aber unter Berücksichtigung der sicherheitskritischen Aspekte.

Das Konzept von CORS stellt sicher, dass aus einer JavaScript-Umgebung heraus keine Ressourcen von Webservern angefragt werden, welche nicht explizit der Anfrage zustimmen [MM20c].

Wie eine „cross-origin“ Ajax-Anfrage nach dem Konzept von CORS gehandhabt wird, ist in Abbildung 2.2 zu betrachten. Wenn eine HTTP-Anfrage nicht „simple“¹ ist, führt der Browser einen sogenannten „Preflighted Request“ aus, bei dem vor der eigentlichen Anfrage eine zusätzliche OPTIONS-Anfrage gesendet wird. Bestätigt nun der Webserver in seiner Antwort auf die OPTIONS-Anfrage, dass die Anfrage so erlaubt ist, 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.

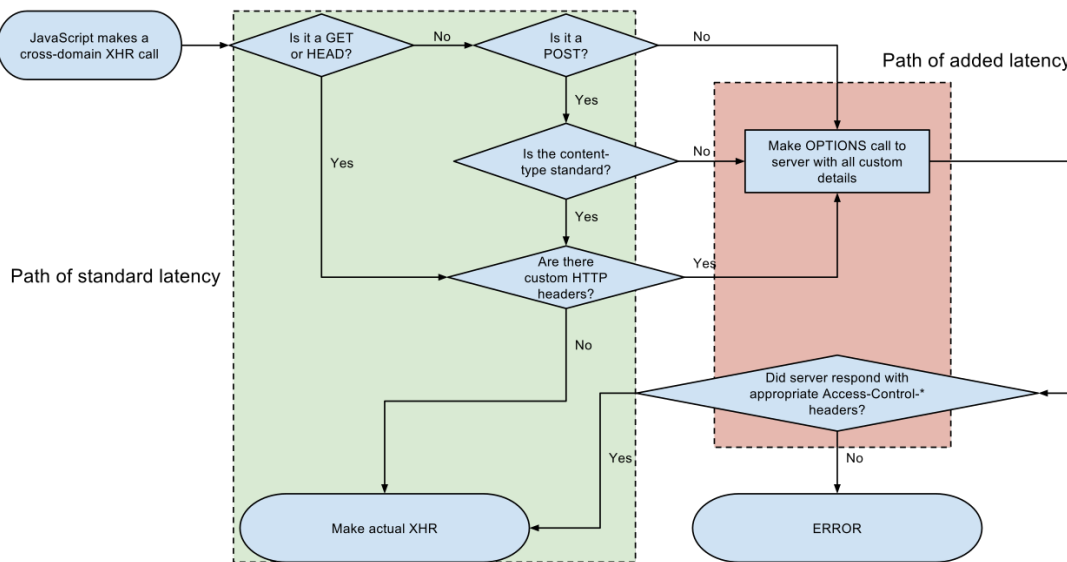


Abb. 2.2: Flowchart über den Ablauf von Ajax-Anfragen mit CORS [Blu15]

2.3.2.2 Content-Security-Policy

Neben CORS gibt es im Browser eine Möglichkeit zu bestimmen, welche Funktionalitäten einer Webanwendung zur Verfügung stehen und wie diese vom Browser einzuschränken sind. Diese Funktion heißt Content-Security-Policy (CSP) und dient unter anderem dem Schutz vor Cross-Site-Scripting, indem eine Webanwendung beschränken kann, welche

¹Eine Anfrage ist „simple“, wenn 1. der Methode GET, HEAD oder POST entspricht; 2. sie 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].

Funktionalitäten in JavaScript verfügbar sind und von wo aus Skripte und Daten geladen werden dürfen [MM20b]. Weiterhin kann bei einem Versuch diese Regeln zu umgehen, eine Berichterstattung darüber eingerichtet werden.

2.3.3 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 unbekannt und es kann nicht erwartet werden, dass Nutzer dieses Log bereitstellen. Durch die zuvor beschriebenen Härtungsmaßnahmen von Browsern ist es hinzukommend nicht möglich, das Log direkt in eine Datei zu schreiben.

Um die Logdaten also zu erheben, gilt es entweder ein spezielles Log-Framework in der Webanwendung zu verwenden oder die bestehende Schnittstelle zu überschreiben oder zu wrappen. Nachdem die Datenerhebung gewährleistet ist, gilt es jedoch zudem die Daten an ein Partnersystem weiterzuleiten, welches die Beachtung der zuvor beschriebenen Einschränkungen erfordert. Alles in Allem stellt sich die Logdatenerhebung als nicht trivial dar, eine genauere Betrachtung erfolgt in der Untersuchung bestehender Lösungen.

2.3.4 Fernzugriff

Ein weiterer Punkt, der den „Browser“ von anderen Umgebungen unterscheidet, ist, dass die Betreiber und Entwickler sich normalerweise nicht auf die Systeme der Nutzer schalten können. Bei Expertenanwendungen, bei denen die Nutzerschaft bekannt ist, ließe sich solch eine Funktionalität ggf. realisieren. Es gibt jedoch keine standardmäßige Funktionalität auf die gesetzt werden kann, wie z. B. das Remote Application Debugging [Ora20] von Java. Weiterhin sind bei einer Webanwendung, die für den offenen Markt geschaffen ist, hierbei sind die Nutzer zahlreich sowie unbekannt und so eine Funktionalität lässt sich nicht realistisch umsetzen.

3 Methoden und Praktiken

3.1 Methoden für eine bessere Nachvollziehbarkeit

3.1.1 Logging

Mit Logging bezeichnet man die systematische Protokollierung von Softwareprozessen und ihren internen Zuständen [ZHF⁺15]. Diese erstellten Protokolle nennt man Logs und sie helfen Betreibern und Entwicklern nach der Ausführung einer Anwendung nachvollziehen zu können, wie die genaue Verarbeitung war. Die daraus resultierende Nachvollziehbarkeit setzt jedoch voraus, dass genügend und informationsreiche Logmeldungen in die Anwendung eingebaut wurden [ZHF⁺15].

Logs stellen meist die hauptsächliche oder einzige Methode dar, wie Betreiber und Entwickler das Verhalten einer Anwendung im Produktivmodus nachvollziehen können [ZHF⁺15]. Gerade in Problemfällen können Logs kritische Informationen bereitstellen. Bei JavaScript-basierten Webanwendungen werden jedoch selten Logs aus einer Produktivumgebung erhoben. Dies ist u. A. durch die Notwendigkeit, die Logs von einem Endnutzersystem an ein Partnersystem weiterleiten zu müssen, zu begründen, wie in Unterabschnitt 2.3.3 erläutert.

Logmeldungen erfolgen meist textbasiert und in einem menschenlesbaren Format. Wenn ein Aggregator nun jedoch Informationen aus einer großen Menge von Logs extrahiert, ist so ein Format hinderlich, da es nicht effizient analysiert werden kann. Um dem entgegen zu wirken, kommt Structured Logging ins Spiel. Bei Structured Logging [TVNP13] werden die Logmeldungen in einem vordefinierten Format erzeugt. Dieses Format kann entweder auch menschenlesbar sein oder definiert die Logmeldung bspw. als JSON-Objekt. Durch die feste Definition des Formates wird der Loganalyse ermöglicht, effizient die notwendigen Daten zu extrahieren.

Wird Structured Logging eingesetzt und ein System analysiert die Protokolldaten auf enthaltene Werte, so wird ermöglicht, dass auf diese Protokolle nicht nur manuell einzusehen sind, sondern dass auch auf Basis dessen komplexe Datenanalysen durchgeführt werden können [TVNP13]. Mit diesen Datenanalysen lassen sich auch bei großen Datenmengen situationsrelevante Informationen entlocken [LGB19]. Weiterhin lassen sich so aus Logmeldungen auch spezielle Daten wie Metriken extrahieren.

3.1.2 Metriken

Mit Metriken versucht man Softwareeigenschaften vergleichbar abzubilden. Hierfür werden einzelne Messungen durchgeführt, die dann mit anderen Messungen derselben Kategorie gegenübergestellt werden. Mit den Gegenüberstellungen lassen sich wiederum Rückschlüsse zu Softwareeigenschaften ziehen, dass bspw. eine Anfrage deutlich länger benötigt als andere „gleichwertige“ Anfragen. Weiterhin lassen sich historische Veränderungen in den Metriken erkennen und können unerwünschte Abweichungen aufdecken.

Beispiele für Metriken sind:

1. Eine Zeitmessung, bzgl. der Dauer einer HTTP-Anfrage.
2. Eine Messung der CPU-Auslastung.

3.1.3 Tracing

Tracing beschäftigt sich mit dem Aufzeichnen von Kommunikationsflüssen [OHH⁺16]. Hierbei erfasst Tracing einerseits die Kommunikationsflüsse innerhalb einer Anwendung bzw. innerhalb eines Systems. Andererseits zeichnet Tracing aber auch die Kommunikationsflüsse bei verteilten Systemen auf, um diese, meist komplexen Zusammenhänge, zu veranschaulichen. Ein herstellerunabhängiger Standard, der sich aus diesem Gebiet entwickelt hat, ist OpenTracing [Ope20e].

OpenTracing bildet diese Kommunikationsflüsse über zwei grundlegende Objekte ab: Traces und Spans. Ein Span besitzt einen Anfangs- und einen Endzeitpunkt und *umspannt* meist eine Methode, bei einer Webanwendung kann dies eine Verarbeitung sein oder einen durch den Nutzer hervorgerufenen Eventfluss sein. Ein Span kann Kindspans beinhalten, wenn in der Methode weitere Spans erzeugt wurden (z. B. durch einen Methodenaufruf). Ein Trace ist eine Menge von Spans, die alle über eine einzelne logische Aktion - wie z. B. den Druck einer Taste - ausgelöst wurden oder resultieren. Ein Trace lässt sich einerseits über die kausalen Beziehungen zwischen den Spans visualisieren (vgl. Abbildung 3.1), oder auch über die zeitliche Reihenfolge der einzelnen Spans (vgl. Abbildung 3.2).

Ein verteilter Trace, oftmals „Distributed Trace“ genannt, ist ein Trace, der sich aus den Spans von verschiedenen Systemen zusammensetzt, die miteinander kommunizieren. Hierbei werden die Traceinformationen oftmals über hinzugefügte Felder bei existierenden Aufrufen propagiert, wie z. B. dem Einfügen eines Trace-Headers. Die dann an ein Tracesystem gemeldeten Spans gehen somit über die Grenzen von Anwendungen, Prozessen und Netzwerken hinaus und bilden somit einen „Distributed Trace“ [Ope20d]. Auf Basis von reellen Aufrufen können somit die tatsächlichen Zusammenhänge der einzelnen Systeme miteinander nachempfunden werden.

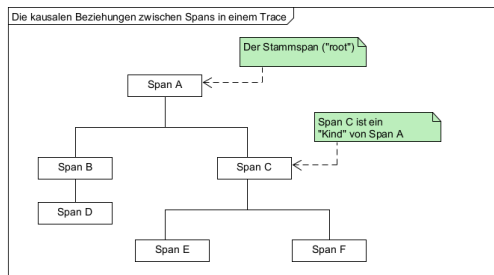


Abb. 3.1: Kausale Beziehung zwischen Spans. Eigene Darstellung.

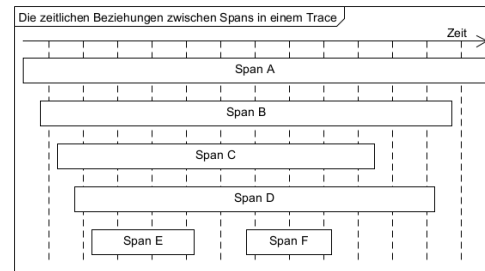


Abb. 3.2: Zeitliche Beziehung zwischen Spans. Eigene Darstellung.

3.1.4 Fehlerberichte

Fehlerberichte sind ein klassisches Mittel, um den Nutzer selbst aktiv werden zu lassen und zu erfragen, welche Aktionen er durchgeführt hat und was schiefgelaufen ist (vgl. Abbildung 3.3). Hiermit können Fehler, aber auch unverständliche Workflows, aufgedeckt werden. Weiterhin kann die Intention des Nutzers ermittelt werden, vorausgesetzt er gibt dies an.

Konträr zu diesen Vorteilen stehen jedoch die von Bettenburg *et al.* [BJS⁺08] gefunden Ergebnisse über die Effektivität von Fehlerberichten. Denn Nutzer meldeten Informationen und Details, die sich für die Entwickler als nicht allzu hilfreich herausstellten. Diese Diskrepanz kann u. A. dadurch erläutert werden, dass Nutzer im Regelfall kein technisches Verständnis des Systems vorweisen.

Abb. 3.3: Fehlerbericht in der Instagram App [Fac20a]

3.2 Praktiken

In der Fachpraxis haben sich einige Technologien über die Jahre entwickelt und etabliert, welche die Nachvollziehbarkeit von Anwendungsverhalten und Nutzerinteraktion ermöglichen oder verbessern. Auf Basis der zuvor vorgestellten Methoden und teils neuer Ansätze haben sich in der Wirtschaft einige Praktiken entwickelt. Diese werden folgend näher beleuchtet.

3.2.1 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.

Ein Beispiel für System Monitoring wäre u. A., wenn man eine Menge an Systemen auf die Festplatten- und CPU-Auslastung hin kontrolliert und überwacht. Es können weitere Aspekte überwacht werden, aber im Regelfall hat die Überwachung selbst nichts mit einem eigentlichen Projekt zu tun, außer dass die Infrastruktur hierfür sichergestellt wird.

3.2.2 Log Management

Log Management umfasst die Erfassung, Speicherung, Verarbeitung und Analyse von Logdaten von Anwendungen. Neben diesen Funktionen bieten solche Werkzeuge oftmals fundierte Suchfunktionen und Visualisierungsmöglichkeiten. Um die Daten aus einer Anwendung heraus zu exportieren, gibt es meist eine Vielzahl an Integrationen für Frameworks und Logbibliotheken.

Einer der wichtigsten Punkte beim Log Management, ist der Umgang mit großen Datenmengen und die gewünschten Operationen, die Nutzer damit durchführen möchten.

3.2.3 Application Performance Monitoring (APM)

Beim Application Performance Monitoring werden Messdaten innerhalb von Anwendungen gesammelt, um das Anwendungsverhalten nachvollziehbar zu gestalten [ABC⁺16]. Beispielsweise werden Aufrufe von Schnittstellen näher beleuchtet und die Antwortzeit gespeichert. Auf Basis der Daten lassen sich u. A. Abweichungen von der Norm feststellen, von einzelnen Systemen oder vom aktuellen Gesamtsystem zu einem vorherigen Zeitpunkt.

Mithilfe von APM lassen sich allgemeine Aspekte von Software, wie die Ressourcennutzung, überprüfen aber auch spezielle Faktoren, wie die Ausführungszeit einer wichtigen Methode, lassen sich so beleuchten. Die zu veranschaulichenden Aspekte werden zum Großteil über Metriken in numerische Werte abgebildet.

3.2.4 Real User Monitoring (RUM)

Real User Monitoring beschäftigt sich mit dem Mitschneiden von allen Nutzerinteraktionen und Umgebungseigenschaften einer Benutzeroberfläche [CGL⁺15]. Hiermit lässt sich nachvollziehen, wie ein Nutzer die Anwendung verwendet. RUM kann weiterhin dazu verwendet werden, um nachzuvollziehen, wie ein Zustand vom Nutzer erreicht worden ist. Aber es können auch ineffiziente Klickpfade hierdurch festgestellt werden und darauf basierend UX-Verbesserungen vorgenommen werden.

Weiterhin ist es beim RUM auch üblich Nutzerinteraktionen gruppierte zu analysieren, um verbreitete und unübliche Sitzungen zu identifizieren. Hiermit wird die Nutzerschaft und ihre Verhaltensweisen nachvollziehbarer gemacht.

3.2.5 Error Monitoring

Das Error Monitoring konzentriert sich auf das Erfassen und Melden von Fehlern [BT19]. Neben den eigentlichen Fehlern werden meist alle verfügbaren Kontextinformationen mit erfasst. Darunter finden sich u. A. Daten aus den Gebieten RUM und Logging. Das Error Monitoring wird oftmals eng mit einem Issue-Management verbunden, um aufgetretene Fehler und deren Behebung nachvollziehbar zu machen [BT19].

3.2.6 Session-Replay

Session-Replay beschreibt das Vorgehen, eine Sitzung eines Nutzers nachzustellen, so als ob sie gerade passiert [EAN17]. Hierbei können einzelne Aspekte der Anwendung nachgestellt werden, bspw. der Kommunikationsablauf oder die DOM-Manipulationen. Je mehr Aspekte nachgestellt werden, desto realitätsnaher ist die Nachstellung und entsprechend hilfreich ist sie beim Nachvollziehen.

Realitätsnahes Session-Replay nimmt somit eine enorme Datenmenge für jede Nutzersitzung auf und benötigt besonders bei Browsern eine effiziente Kommunikation, um die UX nicht negativ zu beeinflussen.

Bereits 2013 entwickelten Burg *et al.* [BBKE13] mit „Timelapse“ ein Framework, um Benutzersitzungen bei Webanwendungen aufzunehmen und wiederzugeben. Timelapse unterscheidet sich zu gängigen Session-Replay-Ansätzen dahingehend, dass die Wiedergabe keine vereinfachte Nachstellung der Anwendung ist. Stattdessen wird die JavaScript-Eventloop abgekapselt und es werden die Aufrufe

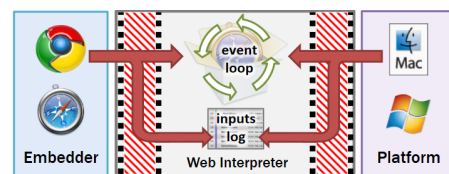


Abb. 3.4: Mitschneiden von DOM-Events, aus [BBKE13]

von und zu der Eventloop mitgeschnitten (vgl. Abbildung 3.4).

Beim Abspielen werden die Aufrufe dann in derselben Reihenfolge an die Eventloop übergeben (vgl. Abbildung 3.5). Dies bedeutet es ist ein exaktes wiederholtes Ausführen in derselben Umgebung möglich und dies ermöglicht eine detaillierte Nachvollziehbarkeit des Anwendungsverhaltens. Leider wird für diesen Ansatz eine gepatchte Version von WebKit vorausgesetzt, somit wird auch Zugriff auf das Endnutzersystem benötigt. Aus diesem Grund und weil es sehr mehr als 5 Jahren nicht mehr gepflegt wird¹, ist es ungeeignet für die hier angestrebte Lösung. Die vorgestellten Konzepte stellen jedoch nützliche Kernprinzipien für das Session Replay im Allgemeinen dar.

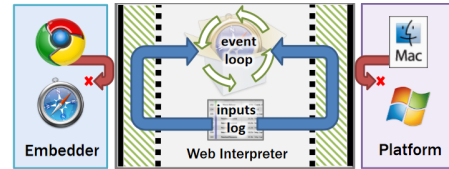


Abb. 3.5: Abspielen von DOM-Events, Abb. aus [BBKE13]

3.2.7 OpenTelemetry

OpenTelemetry (OTel) [Ope20b] ist ein sich derzeit² entwickelnder herstellerunabhängiger Standard, um Tracing-, Metrik- und Logdaten³ zu erfassen, zu verarbeiten, zu analysieren und zu visualisieren. OTel fasst die beiden Standards OpenTracing und OpenCensus [Ope20a] zusammen und hat sich als Ziel gesetzt diese zu erweitern [Jos19]. Hinter dem Standard stehen u. A. die Cloud Native Computing Foundation (CNCF), Google, Microsoft, und führende Hersteller von Tracing- und Monitoring-Lösungen.

Ziel ist es, dass Entwickler Tools und Werkzeuge benutzen können, ohne erneut hochspezifische Anbindungen schreiben und konfigurieren zu müssen. Stattdessen definiert der Standard Komponenten, die spezielle Aufgabengebiete haben und mit einer allgemeinen API anzusprechen sind. Die technische Infrastruktur einer auf OTel basierenden Lösung ist in Abbildung 3.6 zu sehen. Im groben definiert OTel folgende Komponenten: API, SDK, Exporter, Collector und Backend (vgl. Abbildung 3.7).

¹Timelapse GitHub Repo <https://github.com/bug/replay-staging/>

²Ein erster (General-Availability-)Release der Spezifikation ist für Q1 2021 geplant [Ope21b].

³Eine Entwicklung einer Definition zu Logging ist im Gange [Ope21c].

OpenTelemetry Collection

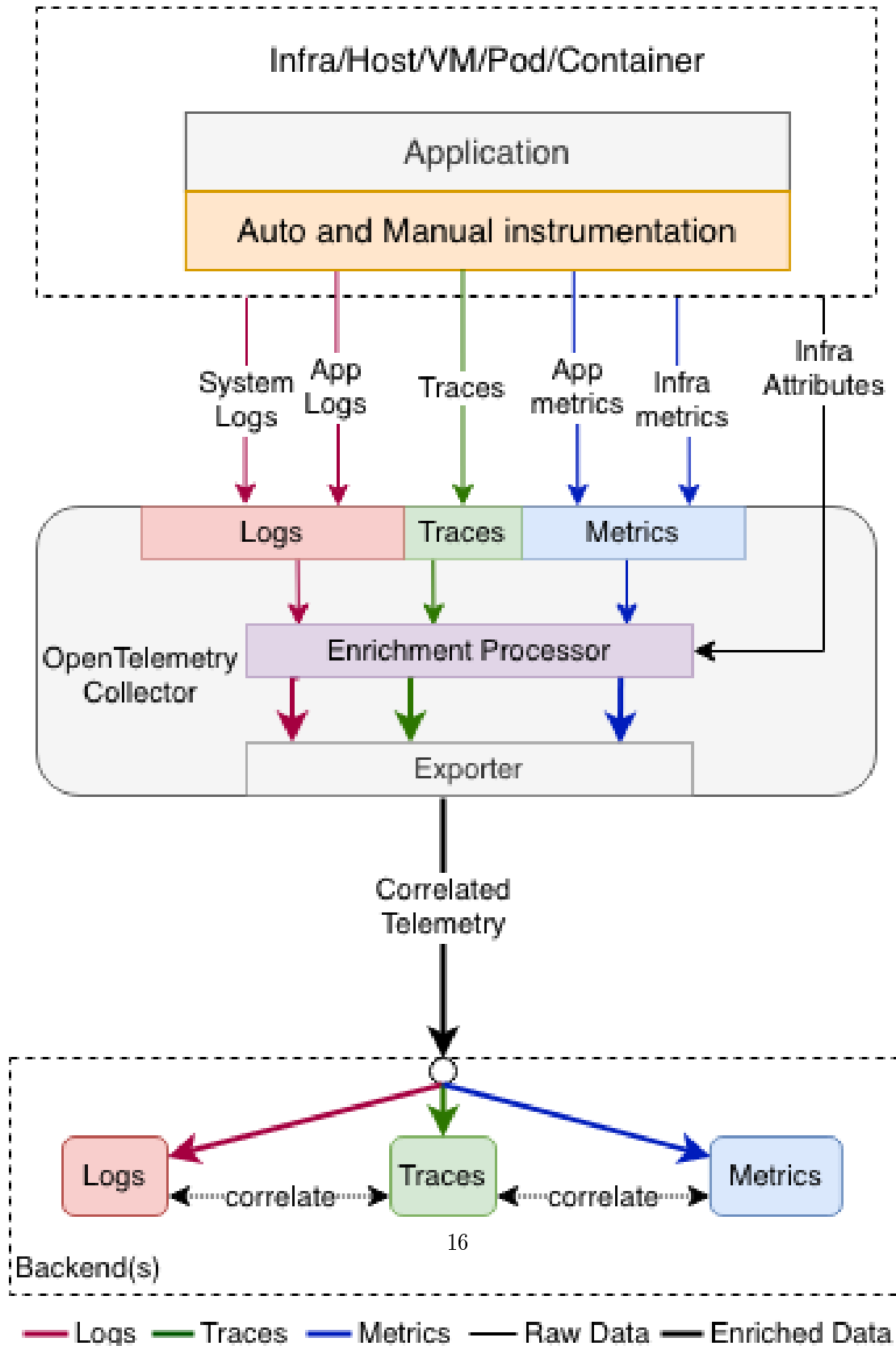


Abb. 3.6: Schaubild einer Lösung auf Basis von OTEL [Ope20c]

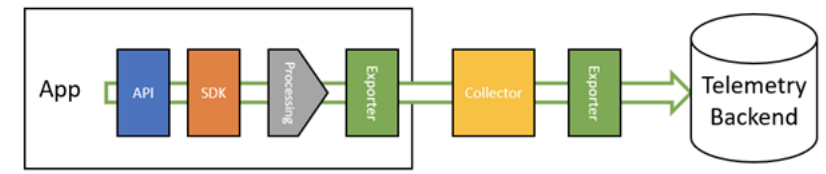


Abb. 3.7: OTel Komponenten [Dyn20]

3.3 Werkzeuge und Technologien

Um die gewünschte Lösung, also ein Proof-of-Concept, zu erstellen, ist zuvor der Stand der Technik zu erörtern. In diesem Abschnitt wird versucht einen repräsentativen Durchschnitt aktueller Technologien vorzustellen, diese zu kategorisieren und dann auf zuvor definierten Kriterien zu bewerten.

3.3.1 Technologien

3.3.1.1 Recherche

Um einen repräsentativen Durchschnitt aktueller Technologien zu erhalten, wurde neben verfügbarer Literatur auch auf etablierte Plattformen im Gebiet der Gegenüberstellung von Technologien. Speziell wurden hierbei Gartner⁴ sowie StackShare⁵ herangezogen. Die identifizierten Technologie werden im nachfolgenden Abschnitt näher betrachtet und kategorisiert.

Mithilfe von Gartners „Magic Quadrant for APM“ [Gar20] konnte festgestellt werden, dass folgende APM-Werkzeuge zu den führenden Technologien ihrer Kategorie angehören: AppDynamics [App21], Dynatrace [Dyn21], New Relic [New21], Broadcom DX APM [Bro21], Splunk APM [Spl21b] sowie Datadog [Dat21]. Bestätigt werden einige dieser Nennungen in der Bewertung bei StackShare [Sta21d], insbesondere New Relic und Datadog werden oft eingesetzt und positiv bewertet.

Neben Splunks akquirierte APM-Lösung (ehemals SignalFX), ist Splunk für sein Log-Management-Produkt Splunk Enterprise [Spl21a] bekannt, welches ebenso Erwähnung in der Bewertung bei StackShare erhielt. Zu den weit verbreitetsten Monitoring-Lösungen bei StackShare [Sta21c] gehören die Komponenten des Elastic Stacks [Ela21] (ehemals ELK-Stack): Elasticsearch, Kibana, Beats und Logstash. In der Gegenüberstellungen von

⁴Gartner ist eine global agierende Forschungs- und Beratungsunternehmen im Bereich der IT [Ivy13]

⁵StackShare (<https://stackshare.io>) ist eine Vergleichsseite für Entwicklerwerkzeuge und Technologien, die auf Basis von Nutzereingaben Vergleiche erzeugt [KKV19]

Log-Management-Lösungen bei StackShare [Sta21b] finden sich neben Splunk und dem Elastic Stack zudem Papertrail [Sol21], Fluentd [Flu21] und Graylog [Gra21].

Martínez *et al.* [HMQLJ21] fanden in Ihrer Evaluierung von Werkzeugen bei der Unterstützung von E2E-Tests, dass die beiden OpenSource-Technologien Jaeger [Jae21b] und Zipkin [Zip21] aktiv dabei helfen können Fehlerszenarien in Microservice-Architekturen besser nachzuvollziehen. Li *et al.* [LLG⁺19] beschreiben, wie mit Prometheus [Pro21], Jaeger, Zipkin und Fluentd [Flu21] eine Datenanalyse von Microservices ermöglicht werden kann. Weiterhin beschreiben Picoreti *et al.* [PCQ⁺18] eine Observability-Architektur, die auf Fluentd, Prometheus und Zipkin basiert.

Bei StackShares Gegenüberstellung von Error-Monitoring-Produkten [Sta21a] stehen drei Technologie hervor: Sentry [Fun21], TrackJS [Tra21] sowie Rollbar [Rol21]. Sentry und TrackJS waren zudem auch bei der Gegenüberstellung der Monitoring-Lösungen [Sta21c] gelistet.

StackShare bezeichnet Session-Replay als „User-Feedback-as-a-Service“ und hierbei [Sta21e] lassen sich ebenfalls drei etablierte Produkte identifizieren: Inspectlet [Ins21], FullStory [Ful21] und LogRocket [Log21]. Während jedoch Inspectlet und FullStory hauptsächlich drauf abzielen, dass die User-Experience nachvollzogen werden kann, konzentriert sich LogRocket auf technische Informationen, die für Entwickler von Bedeutung sind [FČ18]. Gartner bietet eine Übersicht [Gar21] über Produkte im „Web and Mobile App Analytics Market“ an, hierbei findet sich Google Analytics [Goo21], Adobe Analytics [Ado21] sowie LogRocket auf den obersten Positionen.

3.3.1.2 Übersicht

Folgend in Tabellen Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4 werden die gefundenen Technologien näher veranschaulicht. Hierbei wird untersucht, welche Funktionalitäten die jeweilige Technologie vorweist, auf Basis der Produktbeschreiben der Hersteller. Genauer werden folgende Funktionalitäten unterschieden und den Technologien zugeordnet: APM, RUM, Error-Monitoring, Log-Management, Tracing sowie Session-Replay.

Technologie	APM	RUM	Error-Monitoring	Log-Management	Tracing	Session-Replay
Adobe Analytics		gruppiert	teils			
AppDynamics	ja	gruppiert	ja		ja	
Broadcom DX APM	ja		teils	ja	ja	
DataDog	ja	gruppiert	ja	ja	ja	
Dynatrace	ja	gruppiert	ja	ja	ja	
Elastic Stack	möglich	möglich	möglich	ja		
Fluentd				ja		
FullStory		ja	teils			ja
Google Analytics		gruppiert	teils			
Graylog				ja		
Inspectlet		ja	teils			ja
Jaeger					ja	
LogRocket		ja	ja	teils		ja
New Relic	ja	gruppiert	ja	ja	ja	
Papertrail				ja		

Tab. 3.1: Übersicht der untersuchten Technologien, Teil 1

Technologie	APM	RUM	Error-Monitoring	Log-Management	Tracing	Session-Replay
Prometheus	ja					
Rollbar		bei Fehlern	ja			teils
Sentry		bei Fehlern	ja			
Splunk APM (SignalFX)	ja		ja		ja	
Splunk Enterprise	möglich	möglich	möglich	ja		
TrackJS		bei Fehlern	ja			
Zipkin					ja	

Tab. 3.2: Übersicht der untersuchten Technologien, Teil 2

3.3.1.3 Kategorisierung

Beschreibung zur Kategorisierung

Technologie	APM	RUM	Error-Monitoring	Log-Management	Tracing	Session-Replay
Observability-Plattformen						
AppDynamics	ja	gruppiert	ja		ja	
Dynatrace	ja	gruppiert	ja	ja	ja	
New Relic	ja	gruppiert	ja	ja	ja	
Broadcom DX APM	ja		teils	ja	ja	
Splunk APM (SignalFX)	ja		ja		ja	
DataDog	ja	gruppiert	ja	ja	ja	
Log-Management						
Papertrail				ja		
Elastic Stack	möglich	möglich	möglich	ja		
Fluentd				ja		
Splunk Enterprise	möglich	möglich	möglich	ja		
Graylog				ja		
Tracing						
Jaeger					ja	
Zipkin					ja	

Tab. 3.3: Übersicht der untersuchten Technologien, Teil 1

Technologie	APM	RUM	Error-Monitoring	Log-Management	Tracing	Session-Replay
Metriken						
Prometheus	ja					
Error-Monitoring						
Sentry		bei Fehlern	ja			
TrackJS		bei Fehlern	ja			
Rollbar		bei Fehlern	ja			teils
Session-Replay						
Inspectlet		ja	teils			ja
FullStory		ja	teils			ja
LogRocket		ja	ja	teils		ja
Web-Analytics						
Google Analytics		gruppiert	teils			
Adobe Analytics		gruppiert	teils			

Tab. 3.4: Übersicht der untersuchten Technologien, Teil 2

3.3.1.4 Bewertung

Um in dem Proof-of-Concept auf die hier vorgestellten Technologien zurückgreifen zu können, werden diese auf Basis verschiedener Kriterien bewertet. Diese Kriterien reichen von objektiven Eigenschaften bis hin zu subjektiven Einschätzungen, die bei der jeweiligen Evaluierung entstanden sind. Die Kriterien werden folgend näher beschrieben.

3.3.1.5 Funktionalitäten

Das Kriterium „Funktionalitäten“ befasst sich damit, welche Probleme diese Technologie lösen kann. Hierbei ist zu bewerten, welche der folgenden Funktionalitäten die Technologie besitzt: Tracing, Erhebung von Fehlerberichten von Nutzern, System Monitoring, Log Management, APM, RUM, Error Monitoring oder Session-Replay.

3.3.1.6 Open Source

Zunächst soll bewertet werden, ob und wie die einzelnen Komponenten der jeweiligen Technologie quelloffen veröffentlicht wurden. Dabei ist zu beleuchten, ob mit außenstehenden Entwicklern diese Komponenten weiterentwickelt werden oder ob die quelloffene Veröffentlichung lediglich eine Spiegelung der internen Entwicklung darstellt.

3.3.1.7 Standardisierung

Bei dem Kriterium „Standardisierung“ wird bewertet, wie sehr die Technologie auf Standards wie OpenTelemetry o. Ä. setzt. Beispielsweise ist zu bewerten, ob die Daten auf eine Weise erhoben werden, die solchen Standards entsprechen oder ob auch Komponenten ausgetauscht werden können.

3.3.1.8 Flexibilität

Unterschiedliche betriebliche Bedingungen erfordern meist eine hohe „Flexibilität“ von einer neuen Technologie, damit diese ohne hohen Aufwand in ein bestehendes System integriert werden kann. Hierbei ist unter anderem zu bewerten, wie ein Unternehmen die Technologie aufsetzen kann - ist eine „OnPremise“-Lösung möglich, also ein Aufsetzen in der eigenen Infrastruktur, oder existiert sie nur als Software-as-a-Service (SaaS). Weiterhin ist zu bewerten, ob die Technologie auch anpassungsfähig ist auf Änderungswünsche, wenn bspw. neue Sichten zu den bestehenden Daten gefordert werden.

4 Erstellung Proof-of-Concept

4.1 Anforderungen

Das zu erstellende Proof-of-Concept soll einige Rahmenbedingungen erfüllen. In diesem Abschnitt werden diese Bedingungen näher beschrieben.

4.1.1 Definitionen

Um die Anforderungen systematisch einzuordnen, werden sie auf Basis von zwei Modellen kategorisiert, welche folgend vorgestellt werden.

Beim ersten Modell handelt es sich um das Kano-Modell [Kan68] der Kundenzufriedenheit, welches in Tabelle 4.1 erläutert wird.

Kürzel	Titel	Beschreibung
B	Basismerkmal	Merkmale, die als selbstverständlich angesehen werden. Eine Erfüllung erhöht kaum die Zufriedenheit, jedoch eine Nichterfüllung führt zu starker Unzufriedenheit
L	Leistungsmerkmal	Merkmale, die der Kunde erwartet und bei nicht Vorhandensein in Unzufriedenheit äußert. Ein Vorhandensein erzeugt Zufriedenheit, beim Übertreffen umso mehr.
S	Begeisterungsmerkmal	Merkmale, die eine Herabsetzung von der Konkurrenz ermöglichen und die den Nutzenfaktor steigern. Sind sie vorhanden, steigern sie die Zufriedenheit merklich.
U	Unerhebliches Merkmal	Für den Kunden belanglos, ob vorhanden oder nicht.
R	Rückweisungsmerkmal	Diese Merkmale führen bei Vorhandensein zu Unzufriedenheit, sind jedoch beim Fehlen unerheblich.

Tab. 4.1: Merkmale nach dem Kano-Modell der Kundenzufriedenheit

Neben der Unterscheidung nach dem Kano-Modell werden die Anforderungen in funktionale und nicht-funktionale Anforderungen [SS97] aufgeteilt (vgl. Tabelle 4.2).

Kürzel	Titel	Beschreibung
f	funktional	Beschreiben Anforderungen, welche ein Produkt ausmachen und von anderen differenzieren („Was soll das Produkt können?“). Sie sind sehr spezifisch für das jeweilige Produkt. Ein Beispiel: Das Frontend fragt Daten für X vom Partnersystem 1 über eine SOAP-API ab, etc.
nf	nicht-funktional	Beschreiben Leistungs- und Qualitätsanforderungen und Randbedingungen („Wie soll das Produkt sich verhalten?“). Sie sind meist unspezifisch und in gleicher Form auch in unterschiedlichsten Produkten vorzufinden. Beispiele sind: Benutzbarkeit, Verfügbarkeit, Antwortzeit, etc. Zur Überprüfung sind oftmals messbare, vergleichbare und reproduzierbare Definitionen notwendig.

Tab. 4.2: Kategorien der Anforderungen

4.1.2 Anforderungsanalyse

Die Anforderungen, welche von der zu erstellende Lösung gefordert werden, ergaben sich durch den Einfluss verschiedener Quellen. Die primäre Quelle an Anforderungen stellen die Stakeholder dieser Arbeit, Christian Wansart und Stephan Müller, dar. Als Stakeholder betreuen sie die Arbeit und haben ein eigenes Interesse, dass aus der Arbeit ein erfolgreiches und übertragbares Ergebnis resultiert.

Neben den Stakeholdern ergeben sich auch Anforderungen direkt aus der Forschungsfrage selbst und den Bestrebungen des Autors. Die Quellen werden in den Anforderungen mit einem Kürzel angegeben, wie z. B. A für Autor, zu sehen in Tabelle 4.3.

Eine dritte Quelle von Anforderungen ergibt sich aus der Problemstellung des Kunden der Open Knowledge, welche in der Motivation angesprochen wurde. Die beiden Stakeholder brachten neben ihren eigenen Bestrebungen auch die Rahmenbedingungen und Wünsche des Kunden mit ein. Aus dieser Kommunikation ergaben sich somit weitere Anforderungen, welche einen realitätsnahen Charakter haben.

Anforderungen können auch eine Kombination von mehreren Quellen besitzen, wenn die Anforderung aus einer gemeinsamen Bestrebung oder Diskussion entstand.

Kürzel	Titel	Beschreibung
A	Autor	Hiermit ist der Autor dieser Arbeit gemeint.
S	Stakeholder	Die beiden Stakeholder Christian Wansart und Stephan Müller
K	Kunde	Ein Kunde der Open Knowledge, ein Direktversicherer.

Tab. 4.3: Quellen der Anforderungen

4.1.3 Anforderungsliste

Um die Anforderungen strukturiert zu erfassen, werden sie ähnlich einer Karteikarte, wie in Tabelle 4.4 zu sehen, dargestellt. Hierbei erhält jede Anforderung eine Kategorisierung nach dem Kano-Modell, ob sie funktional oder nicht-funktional ist und aus welcher Anforderungsquelle sie entstammt. Jede Anforderung erhält zudem eine eindeutige Id, die nachfolgend in der Arbeit zur Referenzierung dient.

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
1234	Dummy	S	nf	S
Hier wird die Anforderung beschrieben.				

Tab. 4.4: Beispiel einer Anforderung

4.1.3.1 Grundanforderungen

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
1010	Konzept	B	f	A
Es wird ein System konzipiert, welches darauf abzielt die Nachvollziehbarkeit einer JavaScript-basierten Webanwendung zu verbessern. Speziell sollen Benutzerinteraktionen und Anwendungsverhalten nachvollziehbarer gemacht werden.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
1020	Demoanwendung	B	f	A
Eine Demoanwendung ist zu Erstellen und soll dazu dienen, das Konzept darauf anwenden zu können. Diese Demoanwendung soll Fehlerverhalten beinhalten, die dann mithilfe der Lösung besser nachvollziehbar zu gestalten sind.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
1030	Proof-of-Concept	B	f	A
Auf Basis des Konzeptes, ist die Demo-Anwendung zu erweitern.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
1031	Bewertung Proof-of-Concept	B	f	A
Nach Abschluss der Implementierung des Proof-of-Concepts soll dieser veranschaulicht und bewertet werden. Grundlage hierfür sind diese Anforderungen sowie die, zu identifizierende, Fähigkeit die Fehlerszenarien der Demoanwendung nachvollziehbar zu gestalten.				

4.1.3.2 Funktionsumfang

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2010	Schnittstellen-Logging	B	f	S
Das Aufrufen von Schnittstellen ist mittels einer Logmeldung zu notieren. Hierbei sind relevante Informationen wie Aufrufparameter ebenfalls zu notieren.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2011	Use-Case-Logging	B	f	S
Tritt ein Use-Case auf, soll dieser im Log notiert werden. Beispielsweise soll notiert werden, wenn ein Nutzer ein Formular absendet.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2020	Error-Monitoring	B	f	S
Tritt ein Fehler auf, der nicht gefangen wurde, so ist dieser automatisch zu erfasst und um weitere Attribute zu ergänzen. Sonstige Fehler können auch erfasst werden, aber hierbei ist keine automatische Erfassung gefordert.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2030	Tracing	B	f	S
Es werden Tracingdaten ähnlich wie bei OpenTracing und OpenTelemetry erfasst. Optimalerweise werden die Tracingdaten mit OpenTelemetry-konformen Komponenten erfasst.				

4 Erstellung Proof-of-Concept

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2040	Metriken	B	f	S
Es werden Metrikdaten ähnlich wie bei OpenTelemetry erfasst. Optimalerweise werden die Tracingdaten mit OpenTelemetry-konformen Komponenten erfasst.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2050	Session-Replay	B	f	S
Es sollen Session-Replay-Daten erhoben werden, anhand dessen die Benutzerinteraktionen und das Anwendungsverhalten nachgestellt werden kann. Diese Funktionalität darf jedoch standardmäßig deaktiviert sein.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2110	Übertragung von Logs	B	f	S
Ausgewählte Logmeldungen sind an ein Partnersystem weiterzuleiten. Die Auswahl könnte über die Kritikalität, also dem Log-Level, der Logmeldung erfolgen.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2120	Übertragung von Fehlern	B	f	S
Sämtlich erfasste Fehler sind an ein Partnersystem weiterzuleiten.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2130	Übertragung von Tracingdaten	B	f	S
Sämtlich erfasste Tracingdaten sind an ein Partnersystem weiterzuleiten.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2140	Übertragung von Metrikdaten	B	f	S
Sämtlich erfasste Metrikdaten sind an ein Partnersystem weiterzuleiten.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2150	Übertragung von Session-Replay-Daten	B	f	S
Sämtlich erfasste Session-Replay-Daten sind an ein Partnersystem weiterzuleiten.				

4.1.3.3 Eigenschaften

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
3010	Resilienz der Übertragung	S	f	S
Daten, die der Nachvollziehbarkeit dienen, sollen, wenn möglich, bei einer fehlgeschlagenen Verbindung nicht verworfen werden. Sie sind mindestens 120s vorzuhalten und in dieser Zeit sind wiederholt Verbindungsversuche zu unternehmen.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
3020	Batchverarbeitung	S	f	S
Daten, die der Nachvollziehbarkeit dienen, sind, wenn möglich, gruppiert an externe Systeme zu senden. Hierbei ist eine kurze Aggregationszeit von bis zu 10s akzeptabel.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
3100	Anzahl Partnersysteme	B	nf	K
Die Anzahl an zusätzlichen Partnersystemen, die für die Lösung benötigt werden, ist so gering zu halten wie möglich.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
3200	Structured Logging	L	f	A+S
Das Logging soll mit einem vordefinierten Format durchgeführt werden. Für ähnliche Funktionsgruppen (wie ein Schnittstellenaufruf) soll das gleiche Format verwendet werden. Ein anwendungsübergreifendes Format ist nicht gefordert.				

4.1.3.4 Partnersysteme

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5010	Partnersystem <i>Log-Management</i>	B	f	A+S
Es existiert ein Partnersystem, zu dem Logmeldungen weitergeleitet werden. Dieses System soll die Logmeldungen speichern und den Entwicklern und Betreibern eine Einsicht in die erfassten Logmeldungen bieten.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5020	Partnersystem <i>Error-Monitoring</i>	B	f	A+S
Es existiert ein Partnersystem, zu dem Fehler weitergeleitet werden. Dieses System soll die Fehler speichern und den Entwicklern und Betreibern eine Einsicht in die erfassten Fehler bieten.				

4 Erstellung Proof-of-Concept

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5021	Visualisierung <i>Error-Monitoring</i>	L	f	A+S
Das Partnersystem, zu dem die Fehler weiterzuleiten sind, soll diese grafisch darstellen können.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5022	Alerting <i>Error-Monitoring</i>	S	f	A+S
Das Partnersystem, zu dem die Fehler weiterzuleiten sind, soll bei Auftreten von bestimmten Fehlern oder Fehleranzahlen eine Meldung erzeugen (per E-Mail, Slack, o. Ä.).				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5030	Partnersystem <i>Tracing</i>	B	f	A+S
Es existiert ein Partnersystem, zu dem Tracingdaten weitergeleitet werden. Dieses System soll die Fehler speichern und den Entwicklern und Betreibern eine Einsicht in die erfassten Tracingdaten bieten.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5031	Visualisierung <i>Tracing</i>	B	f	A+S
Das Partnersystem, zu dem die Tracingdaten weitergeleitet werden, soll diese grafisch als Tracing-Wasserfallgraph darstellen können.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5040	Partnersystem <i>Metriken</i>	L	f	A+S
Es existiert ein Partnersystem, zu dem Metriken weitergeleitet werden. Dieses System soll die Fehler speichern und den Entwicklern und Betreibern eine Einsicht in die erfassten Metriken bieten.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5041	Visualisierung <i>Metriken</i>	L	f	A+S
Das Partnersystem, zu dem die Metriken weiterzuleiten sind, soll diese grafisch darstellen können.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5042	Alerting <i>Metriken</i>	S	f	A+S
Das Partnersystem, zu dem die Metriken weiterzuleiten sind, soll bei Auftreten von bestimmten Metrikwerten oder Überschreitungen von Schwellen eine Meldung erzeugen (per E-Mail, Slack, o. Ä.).				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5050	Partnersystem <i>Session-Replay</i>	B	f	A+S
Es existiert ein Partnersystem, zu die Session-Replay-Daten weitergeleitet werden. Dieses System soll anhand dieser Daten eine Benutzersitzung rekreieren können.				

4.2 Vorstellung der Demoanwendung

Es wird eine Demoanwendung erstellt, welche die Konzepte anhand der Anforderung 1020 umsetzt. Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Vorstellung der Demoanwendung und der repräsentativen Aufgabe, die diese übernimmt.

In der Motivation wurde ein konkretes Problem eines Kunden der Open Knowledge genannt. Damit die Demoanwendung realistisch eine moderne Webanwendung darstellt, wird sie in Grundzügen den Aufbau der Webanwendung des Direktversicherers nachahmen. Bei der Webanwendung handelt es sich um einen Wizard, also einer Sequenz von aufeinanderfolgenden Dialogseiten bei dem der Nutzer Daten eingeben soll. Bei der Webanwendung handelt es sich um eine clientbasierte Angular-SPA. Die Webanwendung validiert einzelne Felder gegen Partnersysteme (bspw. beim Adressfeld). Am Ende des Wizards werden die gesamten Daten an ein weiteres Partnersystem übermittelt, welches darauf basierend eine Berechnung durchführt und das Ergebnis dann an die Webanwendung sendet.

Es wurde sich dafür entschieden, dass die Webanwendung eine Bestellfunktionalität eines Obst-Webshops darstellen soll. Der Warenkorb hierfür wird anfangs dynamisch generiert und dies soll so simulieren, dass eine andere Komponente diesen erstellt hat. Der Nutzer soll seine Rechnungs- und Lieferdaten eingeben und am Ende die Bestellung ausführen können. Um das gewünschte Verhalten der Demoanwendung zu definieren, wird es im folgenden Abschnitt festgelegt.

4.2.1 Verhaltensdefinition

Mit den beiden Stakeholdern, also Christian Wansart und Stephan Müller, die beide am Projekt für den Kunden involviert sind, wurde diese Verhaltensdefinition erstellt. Diesen Ansatz der Definition der Software anhand des Verhaltens nennt man Behavior-Driven

Development (BDD). BDD wurde 2006 erstmals von Dan North benannt und definiert [Nor06]. Bei BDD werden User-Stories aus der Sicht eines äußerlichen Betrachters entworfen und geschrieben. Dabei umfassen die User-Stories Beispiele, wie sich die Anwendung in diesen Szenarien verhalten soll.

Um die BDD-Definition festzuhalten wurde sie in der gängigen Gherkin-Syntax [Sma19] geschrieben. Die Syntax ist natürlich zu lesen, folgend werden alle gewünschten Features der Demoanwendung in der Gherkin-Syntax aufgelistet.

```
1 Feature: Warenkorb
2
3     Der Warenkorb ist eine Übersicht über die gewählten Artikel. Hier
        sollen die Artikel samt Name, Anzahl sowie Preis angezeigt werden.
        Der Warenkorb stellt den Einstieg der Software dar.
4
5     Scenario: Kundin öffnet den Warenkorb
6         When die Kundin den Warenkorb öffnet
7         Then soll sie die ausgewählten Artikel mit Bild, Artikelnamen,
            Anzahl und dem Gesamtpreis des Artikels sehen
8         And sie soll den Gesamtpreis für alle Artikel sehen
9
10    Scenario: Kundin soll zur nächsten Seite wechseln können
11        Given die Kundin hat die gewählten Produkte geprüft
12        When sie auf den "Bestellvorgang starten"-Button klickt
13        Then soll sie auf die Seite "Rechnungsadresse" gelangen
```

Quellcode 4.1: Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Warenkorb“

```
1 Feature: Rechnungsadresse
2
3     Die zweite Seite ist die Rechnungsadresse. Hier sollen die Nutzer ihre
        Rechnungsadresse eingeben können, welche die Pflichtfelder Anrede
        , Vornamen, Nachnamen, Straße, Hausnummer, Postleitzahl sowie die
        E-Mail-Adresse umfassen.
4
5     Scenario: Kundin kommt auf die Rechnungsadresse-Seite vom Warenkorb
        aus
6         When die Rechnungsadresse-Seite zum ersten Mal aufgerufen wird
7         Then sollen die Eingabefelder leer sein
8
9     Scenario: Kundin kommt auf die Rechnungsadresse-Seite von der
        Lieferadresse-Seite aus
10        Given die Kundin hatte bereits zuvor die Rechnungsadresse ausgefü
        llt
11        Then sollen die zuvor eingegebenen Adressdaten weiterhin vorhanden
        sein
12
13    Scenario: Kundin kann ihre Rechnungsadresse eingeben
14        When die Kundin die Rechnungsadresse-Seite betritt
15        Then soll sie die Möglichkeit haben
16        * eine Anrede anzugeben
```

```
17 * den Vornamen eingeben zu können
18 * den Nachnamen eingeben zu können
19 * die Straße eingeben zu können
20 * die Hausnummer eingeben zu können
21 * die Postleitzahl (PLZ) eingeben zu können
22 * die Stadt eingeben zu können
23 * die E-Mail-Adresse eingeben zu können
24
25 Scenario: Kundin soll zur nächsten Seite wechseln können
26 Given die Kundin hat alle Felder ausgefüllt
27 When sie auf den "weiter"-Button klickt
28 Then soll sie auf die Seite "Lieferdaten" gelangen
29
30 Scenario: Kundin füllt nicht alle benötigten Felder aus und klickt auf
31 "weiter"
32 Given die Kundin hat alle Felder außer bspw. der Hausnummer
33 eingegeben
34 When sie auf "weiter" klickt
35 Then soll sie informiert werden, dass sie alle Felder ausfüllen
36 muss
37
38 Scenario: Kundin gibt invalide Daten ein
39 When die Kundin eine andere Rechnungsadresse eingibt
40 * Vorname und Nachname Sonderzeichen enthalten außer Bindestriche
41 enthält
42 * Straße Sonderzeichen außer Bindestriche und Punkte enthält
43 * Hausnummer Sonderzeichen enthält
44 * PLZ alles andere außer Zahlen enthält
45 * Stadt keine deutsche Stadt ist
46 * das @ bei der E-Mail-Adresse fehlt
47 Then soll eine Warnung angezeigt werden und der "weiter"-Button
48 blockiert werden
```

Quellcode 4.2: Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Rechnungsadresse“

```
1 Feature: Lieferdaten
2
3 Auf der dritten Seite sollen die Kunden die Lieferdaten eintragen kö
4 nnen. Hier soll es die Möglichkeit geben, die Rechnungsadresse als
5 Lieferadresse übernehmen zu können. Alternativ sollen die Nutzer
6 die Pflichtfelder Anrede, Vornamen, Nachnamen, Straße, Hausnummer,
7 Postleitzahl, Stadt eingeben können.
8
9 Scenario: Kundin kommt auf die Lieferdaten-Seite von der
10 Rechnungsadresse-Seite aus
11 When die Kundin zum ersten Mal auf die Lieferdaten-Seite kommt
12 Then soll das Häkchen bei "Gleiche Lieferdaten wie
13 Rechnungsadresse" gesetzt sein
14 And das gleiche Formular wie von der Rechnungsadresse-Seite
15 erscheinen, mit den zuvor eingegebenen Daten
16 And das Formular soll deaktiviert sein, solange das Häkchen
```



```
10      gesetzt ist
11  Scenario: Kundin kommt auf die Lieferdaten-Seite von der Zahlungsdaten
12      -Seite aus
13  Given die Kundin hatte bereits zuvor die Lieferdaten ausgefüllt
14  Then sollen die zuvor eingegebenen Adressdaten weiterhin vorhanden
15      sein
16  Scenario: Kundin möchte die Rechnungsadresse übernehmen
17  Given das Häkchen bei "Gleiche Lieferdaten wie Rechnungsadresse"
18      ist gesetzt
19  When sie auf den "weiter"-Button klickt
20  Then soll sie auf die Seite "Zahlungsdaten" gelangen
21  Scenario: Kundin möchte andere Lieferdaten nutzen
22  Given das Häkchen bei "Gleiche Lieferdaten wie Rechnungsadresse"
23      wurde entfernt
24  When die Kundin hat alle Felder ausgefüllt
25  And sie auf den "weiter"-Button klickt
26  Then soll sie auf die Seite "Zahlungsdaten" gelangen
27  Scenario: Kundin möchte andere Lieferdaten nutzen, ohne alle Felder
28      ausgefüllt zu haben
29  Given das Häkchen bei "Gleiche Lieferdaten wie Rechnungsadresse"
30      wurde entfernt
31  When die Kundin eine andere Lieferdaten eingibt
32  * Vorname und Nachname Sonderzeichen enthalten außer Bindestriche
33      enthält
34  * Straße Sonderzeichen außer Bindestriche und Punkte enthält
35  * Hausnummer. Sonderzeichen enthält
36  * PLZ alles andere außer Zahlen enthält
37  * Stadt keine deutsche Stadt ist
38  * das @ bei der E-Mail-Adresse fehlt
39  And sie auf den "weiter"-Button klickt
40  Then soll eine Warnung angezeigt und der "weiter"-Button blockiert
41      werden
```

Quellcode 4.3: Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Lieferadresse“

```
1  Feature: Zahlungsart
2
3  Die vierte Seite enthält die Auswahl der Zahlungsart. Hier sollen den
4  Kunden die Zahlungsarten Rechnung, Lastschrift, PayPal und
5  Kreditkarte zur Auswahl gestellt werden.
6
7  Scenario: Kundin kommt zum ersten Mal auf die Zahlungsdaten-Seite von
8      der Lieferdaten-Seite
9  When die Kundin die Seite zum ersten Mal betritt
10 Then soll "Rechnung" vorausgewählt sein
11
12 Scenario: Kundin kommt auf die Zahlungsdaten-Seite von der "Bestellung
```

```
10     abschließen"-Seite aus
11     Given die Kundin hatte bereits zuvor die Zahlungsart ausgefüllt
12     Then sollen die zuvor eingegebenen Zahlungsdaten weiterhin
13         vorhanden sein
```

Quellcode 4.4: Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Zahlungsdaten“

```
1 Feature: Bestellung abschließen
2
3     Die letzte Seite soll eine Übersicht über die zuvor eingegebenen Daten
4     geben, bevor die Kundin die Bestellung abschließt.
5
6     Scenario: Kundin betritt die Seite
7         When die Kundin die Seite betritt soll eine Bestellübersicht über
8             die Artikel von Seite 1 angezeigt werden
9             * die Artikel angezeigt werden
10            * die Rechnungsadresse angezeigt werden
11            * die Lieferadresse angezeigt werden
12            * die Rechnungsart angezeigt werden
13            * ein "kostenpflichtig bestellen"-Button angezeigt werden
14
15    Scenario: Kundin schließt die Bestellung ab
16        When die Kundin auf den "kostenpflichtig bestellen"-Button klickt
17        Then soll eine Serverinteraktion ausgelöst werden, die die
18            Bestellung speichert
19        And die Bestellbestätigung soll dargestellt werden
```

Quellcode 4.5: Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Bestellung abschließen“

Neben dem eigentlichen User-Interface soll auch ein Backend Teil der Demoanwendung sein. Hierfür wurde auf Basis der Verhaltensdefinition eine Architektur entworfen, die im folgenden Abschnitt näher beschrieben wird.

4.2.2 Backend

Das Backend wurde als Microservice-Architektur [NMMA16] konzipiert und wurde ebenso wie die Webanwendung auch an das Projekt des Open Knowledge Kunden angelehnt. In Abbildung 4.1 lässt sich die konzipierte und umgesetzte Architektur betrachten, hierbei stellen Pods einzelne Containersysteme dar. Diese Architektur wurde mit den Stakeholdern zusammen konzipiert und ähnelt dem des Direktversicherers.

Für das Frontend ist die einzig anzusprechende Schnittstelle das „backend4frontend“, welches die Kommunikation zu Partnersystemen ermöglicht sowie die Sicherheits- und Validitätsaspekte überprüft. Die weiteren Dienste „Bestellungen“, „Übersetzungen“, „Adressvalidierung“ und „Warenkorb“ übernehmen die jeweilige Funktion, die ihr Name

beschreibt. Der Dienst „Bestellungen“ ist das Partnersystem, welches beim Fertigstellen des Wizards aufgerufen wird und es führt dabei weitere Datenabfragen und Validitätsüberprüfungen mit Partnerdiensten durch.

Mit dieser recht komplexen Architektur einer Demoanwendung wurde versucht, eine möglichst realitätsnahe Repräsentation zu erstellen. Speziell wird bei einer solchen Architektur der Nutzen von Tracing deutlicher, nämlich um z. B. die Zusammenhänge zwischen den Diensten nachvollziehen zu können. Dies wird beim Einsatz und der Vorstellung der Lösung näher betrachtet.

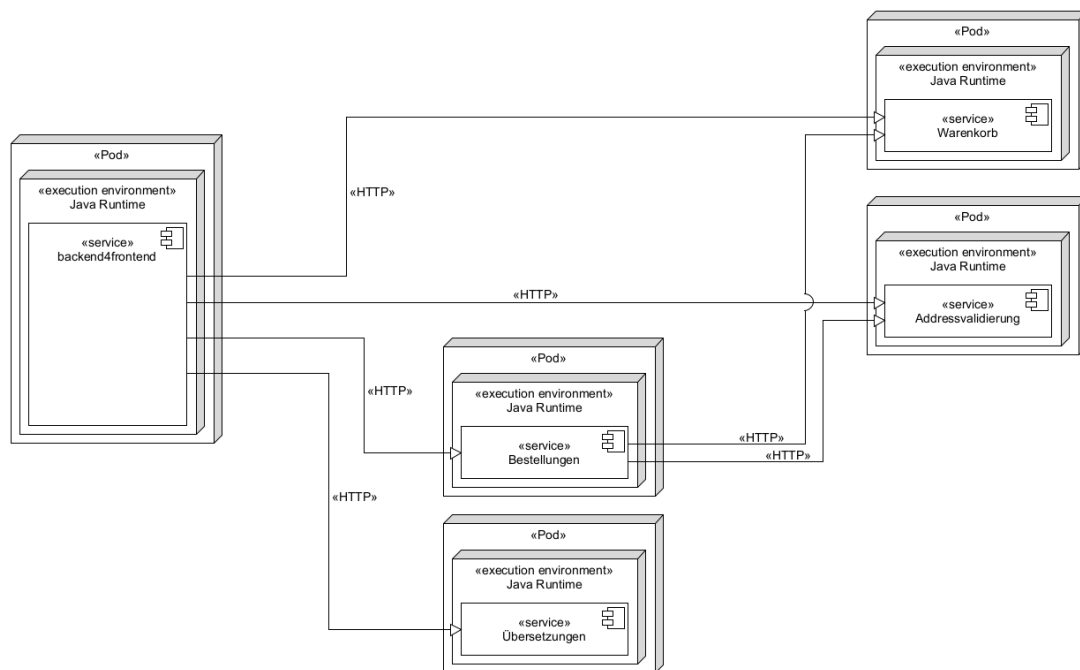


Abb. 4.1: Demoanwendung: Deployment-Diagramm, Quelle: Eigene Darstellung

Die einzelnen Dienste wurden mit Eclipse MicroProfile [Ecl21] umgesetzt. MicroProfile ist eine Kollektion von verschiedener Java EE Frameworks und Technologien zur Umsetzung von Microservices und zielt darauf ab diese weiterzuentwickeln und zu standardisieren. Speziell wurden die Dienste auf Basis von JAX-RS als REST-Services umgesetzt.

Danach wurden die einzelnen Dienste in jeweils eigene Docker Images [Doc20] verpackt, um eine einheitliche Umgebung auch auf unterschiedlichen Rechnern zu gewährleisten. Diese Images wurden dann mit Kubernetes [The20] aufgesetzt und miteinander verbunden.

4.2.3 Frontend

Wie beim Kunden wurde ein Wizard auf Basis von Angular erstellt, welcher mehrere aufeinander folgende Formulare in derselben SPA enthält. In den folgenden Abschnitten wird das Frontend anhand eines Beispieldurchlaufs durch die einzelnen Seiten vorgestellt.

4.2.3.1 Warenkorb

Abbildung 4.2 zeigt die Startseite, die der Nutzer sieht, wenn er die Demoanwendung aufruft. Hierbei wird simuliert, dass der Nutzer zuvor in einem Online-Obsthandel einige Produkte ausgewählt hat und sich nun auf der Ansichtsseite des Warenkorbs befindet. Hier kann der Nutzer seine Auswahl prüfen und bei Zufriedenheit kann er den Bestellvorgang starten. Die hier angezeigten Daten werden vom Warenkorbdienst abgerufen, über die Angabe eines zuvor zufällig generierten Warenkorb-Identifiers. Die Warenkorbdaten werden zudem mit Übersetzungsdaten vom Übersetzungsdienst angereichert, denn in den Warenkorbdaten stehen lediglich Übersetzungsschlüssel wie `item.peach`, die dann auf den tatsächlichen Übersetzungswert abgebildet werden also `Pfirsich`. Beim Starten des Bestellvorgangs wird keine Serverabruf durchgeführt, sondern in der SPA ein Seitenwechsel vorgenommen.

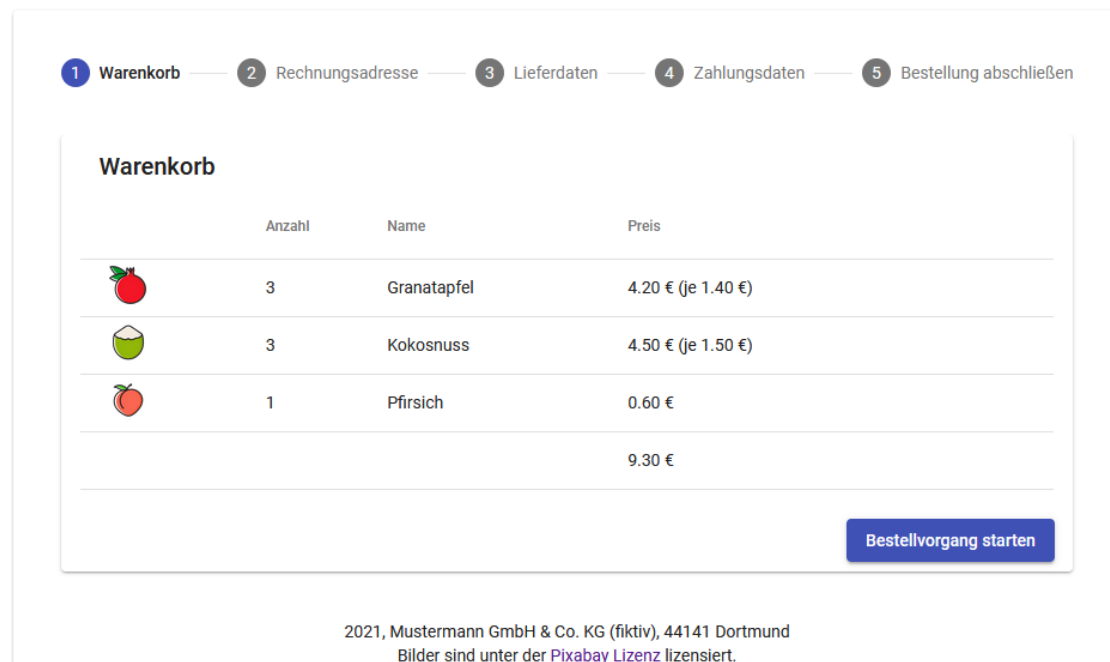


Abb. 4.2: Demoanwendung: Startseite „Warenkorb“

4.2.3.2 Rechnungsadresse

Startet der Nutzer den Bestellvorgang, so landet er zunächst auf der Eingabemaske zur Rechnungsadresse (vgl. Abbildung 4.3). Hier wird er gebeten rechnungsrelevante Informationen anzugeben, u. A. seine Adresse. Er kann jedoch auch auf die vorherige Seite zurückspringen.

Beim Absenden des Formulars wird zunächst die Validität der Eingabefelder überprüft, bspw. ob die PLZ aus 5 Zahlen besteht, und anschließend wird die Adresse dem Adressvalidierungsdienst zur Prüfung übergeben. Schlägt eine Validierung fehl, so wird dies entweder direkt am verursachenden Textfeld angezeigt oder in einer allgemeinen Fehlermeldung im unteren Bereich der Eingabemaske ausgegeben.

Sind beide Prüfungen jedoch erfolgreich, so wird ein Seitenwechsel in der SPA durchgeführt. Neben der Adressüberprüfung wird kein zusätzlicher Serveraufruf durchgeführt, die eingegeben Daten werden jedoch intern einer übergreifenden Komponente übergeben.

Warenkorb — 2 Rechnungsadresse — 3 Lieferdaten — 4 Zahlungsdaten — 5 Bestellung abschließen

Rechnungsadresse

Anrede
Herr

Vorname
Max

Nachname
Mustermann

Straße
Musterallee

Nr.
42

Postleitzahl
44141

Stadt
Dortmund

E-Mail
max.mustermann@example.com

5 / 5

Zurück **Weiter**

2021, Mustermann GmbH & Co. KG (fiktiv), 44141 Dortmund
Bilder sind unter der [Pixabay Lizenz](#) lizenziert.

Abb. 4.3: Demoanwendung: Seite „Rechnungsadresse“

4.2.3.3 Lieferdaten

Nach einer erfolgreichen Eingabe der Rechnungsadresse, wird der Nutzer nun gebeten seine Daten einzugeben, wo die Produkte hin geliefert werden sollen. Hierzu kann er entweder die relevanten Daten aus der Rechnungsübernehmen lassen (Standardfall) oder er gibt alternativ abweichende Lieferdaten an, wie in Abbildung 4.4 zu sehen ist. Wie zuvor kann der Nutzer auch auf das vorherige Formular zurückspringen.

Bei der Angabe von abweichenden Lieferdaten werden, wie beim Formular der Rechnungsadresse, zunächst die Eingabefelder überprüft und bei Fehlschlag visuell dem Nutzer darüber berichtet. Anders als bei der Rechnungsadresse wird jedoch nicht die Adressvalidierungsdienst befragt, dies wird in aufgefasset und erläutert.

Sind keine abweichenden Lieferdaten erwünscht oder die Validierung der Eingaben erfolgt, wird beim Klick auf „Weiter“ ein Seitenwechsel in der SPA durchgeführt. Auch hier erfolgt kein Serveraufruf, jedoch werden die Daten an die übergreifende Komponente innerhalb der Webanwendung weitergereicht.

Warenkorb — Rechnungsadresse — **3 Lieferdaten** — 4 Zahlungsdaten — 5 Bestellung abschließen

Lieferdaten

☐ Gleiche Lieferadresse wie Rechnungsadresse

Anrede
Herr

Vorname
Peter

Nachname
Mustermann

Straße
Musterring

Nr.
1337

Postleitzahl
44135

Stadt
Dortmund

5 / 5

Zurück **Weiter**

2021, Mustermann GmbH & Co. KG (fiktiv), 44141 Dortmund
Bilder sind unter der [Pixabay Lizenz](#) lizenziert.

Abb. 4.4: Demoanwendung: Seite „Lieferdaten“

4.2.3.4 Zahlungsdaten

Anschließend der Eingabe der Lieferdaten wird der Nutzer nun gebeten seine Zahlungsinformationen einzugeben. Hierbei kann der Nutzer zwischen 4 Zahlungsarten auswählen: per Rechnung, Lastschrift, PayPal oder Kreditkarte. Wie bei den anderen Formularen kann der Nutzer auf das vorhergehende Formular über den Button „Zurück“ wechseln.

Bei Auswahl der Rechnungsart „Rechnung“ muss der Nutzer keine weiteren Daten eingeben. Hingegen sind bei anderen Rechnungsarten weitere Daten einzugeben, wie z. B. der in der Abbildung 4.5 zu betrachteten Rechnungsart „Lastschrift“, hier muss der Kontoinhaber und die IBAN angegeben werden. Bei PayPal muss die PayPal-E-Mail werden und bei der Auswahl der Kreditkarte müssen die Kreditkarteninformationen Karteninhaber, Kartennummer, CVC sowie das Ablaufdatum angegeben werden. Die jeweilig einzugebenden Daten werden clientseitig validiert, ähnlich wie bei den vorherigen Formularen.

Ist eine Rechnungsart ausgewählt und die einzugebenden Daten valide ausgefüllt, so führt ein Absenden des Formulars zu einem Seitenwechsel auf die Seite zum Abschließen der Bestellung. Es wird keine zusätzliche Serverinteraktion durchgeführt, die Daten werden jedoch erneut an die übergreifende Komponenten übergeben.

Abb. 4.5: Demoanwendung: Seite „Zahlungsdaten“

4.2.3.5 Bestellübersicht

Da der Nutzer nun alle notwendigen Daten zur Bestellung eingegeben hat, wird auf dieser Seite ihm eine Übersicht dieser Eingaben präsentiert, wie in Abbildung 4.6 zu sehen ist. Wie bei allen Formularen gibt es auch hier die Option für den Nutzer zu einem vorherigen Formular zurückzuspringen und Anpassungen vorzunehmen.

In der Bestellübersicht werden explizit der ausgewählte Warenkorb, die eingegebenen Rechnungs- und Lieferadresse sowie die gewählte Zahlungsart dargestellt. Der Warenkorb wird hierbei analog zur Warenkorbseite vom Warenkorbdienst abgefragt und nicht clientseitig gespeichert. Die anderen Daten sind nur clientseitig gespeichert und werden über eine übergreifende Komponente bereitgestellt. Weitere Eingaben sind auf dieser Seite vom Nutzer aber nicht gefordert, sie dient hauptsächlich der visuellen Überprüfung für den Nutzer bevor er die Bestellung kostenpflichtig durchführt.

Sendet der Nutzer die Bestellung ab, werden die zuvor eingegeben Daten und der Identifier des Warenkorbs an den Bestelldienst übergeben. Dieser überprüft beide Adresseingaben gegen den Adressvalidierungsdienst, ruft den Warenkorb vom Warenkorbdienst ab

und errechnet auf dieser Datenbasis den Bestellbeleg. Der Bestellbeleg wird dem Frontend in der Antwort übergeben und dies führt zu einem Seitenwechsel.

Warenkorb — Rechnungsadresse — Lieferdaten — Zahlungsdaten — **Bestellung abschließen**

Bestellübersicht

Warenkorb

	Anzahl	Name	Preis
	3	Granatapfel	4.20 € (je 1.40 €)
	3	Kokosnuss	4.50 € (je 1.50 €)
	1	Pfirsich	0.60 €
			9.30 €

Rechnungsadresse

Herr Max Mustermann
Musterallee 42
44141 Dortmund
max.mustermann@example.com

Lieferadresse

Herr Peter Mustermann
Musterring 1337
44135 Dortmund

Zahlungsart

Bezahlung per Lastschrift

[Zurück](#) [Kostenpflichtig bestellen](#)

2021, Mustermann GmbH & Co. KG (fiktiv), 44141 Dortmund
Bilder sind unter der [Pixabay Lizenz](#) lizenziert.

Abb. 4.6: Demoanwendung: Seite „Bestellübersicht“

4.2.3.6 Bestellbestätigung

Über die erfolgreiche Bestellung leitet die SPA automatisch auf diese Seite weiter. Hier werden die Daten der Bestellbestätigung dem Nutzer visuell präsentiert (vgl. Abbildung 4.7). Bei den angezeigten Daten handelt es sich nicht um die zuvor gespeicherten, sondern ausschließlich um die vom Bestelldienst übermittelten Daten.

Auf dieser Seite kann der Nutzer nun nur noch auf den Button „Zum Shop“ klicken und gelangt erneut zur Startseite, jedoch mit einem neuen Warenkorb.

Bestellbestätigung
Vielen Dank für Ihre Bestellung!
Ihre Bestellung von 3 Artikeln wurde aufgenommen und wird unter der Nummer #6509 bearbeitet.
In Kürze werden wir 9.30 € über Ihre gewählte Rechnungsart "Rechnung" einholen.
Die Artikel werden Ihnen in voraussichtlich 3-5 Werktagen zugestellt, unter Berücksichtigung folgender Adresse:

Herr Peter Mustermann
Musterring 1337
44135 Dortmund

Zum Shop

Abb. 4.7: Demoanwendung: Finale Seite „Bestellbestätigung“

Wie in Anforderung 1020 definiert wurden in das Frontend einige Fehler eingebaut, damit diese, mit der zu erstellenden Lösung, aufgedeckt werden können. Diese Fehler werden nachfolgend näher betrachtet.

4.2.4 Fehlerszenarien

Wie zuvor erwähnt und in Anforderung 1020 gewünscht, besitzt die Demoanwendung einige simulierte Fehler. Diese Fehler wurden in Zusammenarbeit mit den Stakeholdern konzipiert. Bei der Konzeption wurde versucht möglichst realitätsnahe oder sogar tatsächlich beim Kunden aufgetretene Probleme einzubauen.

Diese Fehler gehören unterschiedlichen Problemgruppen an, sie reichen von unerwünscht strenger Validierung, über Konfigurationsfehlern bis hin zu ineffizienter Datenverarbeitung. Sie werden folgen in Fehlerszenarien beschrieben, aus der Sicht eines Projektteams, welches diese Szenarien berichtet bekommen oder selbst notiert hat.

4.2.4.1 „Keine Übersetzungen“

- Problem: Nutzer berichten, dass manchmal die Webanwendung beim Start keine Artikeltexte anzeigt (vgl. Abbildung 4.8).

- Ursache: Die Pods, die den Übersetzungsdienst enthalten, werden repliziert bereitgestellt. Einer der Pods hat



	Anzahl	Name
	3	***item.coconut***
	2	***item.peach***

Abb. 4.8: Fehlende Texte

eine defekte Konfiguration, weswegen er keine Übersetzungen der Artikel enthält. Wird zu diesem Pod verbunden, tritt das Fehlverhalten auf. Dies ist eine Nachstellung eines tatsächlichen Problems beim Kunden.

4.2.4.2 „Gültige Straßen sind ungültig“

- Problem: Nutzer berichten, dass Ihr Straßenname nicht eingegeben werden kann. Beispielsweise führt die Eingabe „Ährenweg“ zu einem Fehler.
- Ursache: Der Adressvalidierungsdienst validiert Straßen mit dem Regular-Expression `[a-zA-Z\,\-\]+`, welches keine gängigen Sonderzeichen (ä ,ö ,ü, ß) erlaubt.

4.2.4.3 „Gültige Städte sind ungültig“

- Problem: Nutzer aus Gießen berichten, dass Sie das Formular zur Rechnungsadresse nicht ausfüllen können
- Ursache: Der Adressvalidierungsdienst meldet die Stadt „Gießen“ als ungültig, weil sie nicht in der lokalen Tabelle vorhanden ist.

4.2.4.4 „Ungültige Adressen sind gültig“

- Problem: Nutzer können in den Lieferdaten ungültige Eingaben tätigen und absenden, bei der Bestellaufgabe kommt es zu einem Fehler.
- Ursache: Das Frontend überprüft lediglich die Rechnungsadresse, aber nicht die Lieferadresse

4.2.4.5 „Vor- und Nachnamen werden abgeschnitten“

- Problem: Nutzer berichten, dass in der Bestellbestätigung Ihre Vor- und Nachnamen abgeschnitten dargestellt werden.
- Ursache: Der Bestelldienst begrenzt den Vor- sowie den Nachnamen auf 20 Zeichen, das Frontend begrenzt dies jedoch nicht.

4.2.4.6 „Falsche Zahlungsart“

- Problem: Nutzer berichten, dass in der Bestellbestätigung die falsche Zahlungsart angezeigt wird. In der Bestellübersicht wurde jedoch die korrekte Zahlungsart angezeigt.
- Ursache: Das Frontend sendet alle Formulardaten jeder Rechnungsart an den Dienst „Bestellungen“. Dieser nimmt aber an, dass alle nicht ausgewählten Rechnungsarten statt Formulardaten nur `null` enthalten.

4.2.4.7 „Lange Verarbeitung“

- Problem: Beim Absenden des Formulars auf der Seite „Warenkorb“ kommt es zu einer unerwünschten Wartezeit (von min. 6-10s).
- Ursache: Dies ist eine simulierte Wartezeit im Frontend je nach Anzahl der Positionen (2s pro Position), um eine ineffiziente Verarbeitung nachzuahmen.

Dennoch ist anzumerken, dass die Demoanwendung nur ein Modell einer tatsächlichen Webanwendung darstellt. Wie jedes Modell können nicht alle Gegebenheiten des zu modellierenden Sachverhalts nachgestellt werden. Jedoch ist durch den allgemein gehaltenen Anwendungsfall und die moderne Umsetzung eine Übertragbarkeit zu ähnlichen Projekten durchaus vorhanden.

Nun da die Demoanwendung beschrieben ist, wird das Konzept erstellt, welches letztendlich auf die Demoanwendung anzuwenden ist. Das Konzept selber ist jedoch losgelöst von der Demoanwendung zu verstehen.

4.3 Konzept

4.3.1 Datenverarbeitung

Auf Basis der zuvor vorgestellten Methoden und Praktiken wird nun eine sinnvolle Kombination für das Frontend konzeptioniert, die als Ziel hat, die Nachvollziehbarkeit nachhaltig zu erhöhen. Es werden die Grunddisziplinen Datenerhebung, -auswertung und -präsentation unterschieden und nacheinander beschrieben. Danach und darauf aufbauend wird eine grobe Architektur vorgestellt, die diese Ansätze in ein Gesamtbild bringt.

4.3.1.1 Erhebung

Wie zuvor in Unterabschnitt 2.3.1 beschrieben, erhalten Betreiber und Entwickler im Normalfall nur unzureichende Information über das Anwendungsverhalten oder die getätigten Nutzerinteraktionen bei einer SPA. Aus diesem Grund sollen explizit weitere Daten erhoben werden, um die Nachvollziehbarkeit zu erhöhen.

Wie aus den Erkenntnissen von FAME (??) und Kaiju (??) zu deuten ist, gibt es durch die Verknüpfung von verschiedenen Datenkategorien einen Mehrwert für die Verständnis von Betreibern und Entwicklern. Deshalb sollen in der Lösung die 4 Datenkategorien „Logs“, „Metriken“, „Traces“ und „Fehler“ erhoben und an Partnersysteme weitergeleitet werden.

Neben diesen Daten sollen auch die Benutzerinteraktionen aufgezeichnet werden. Hierfür soll jedoch kein tiefer gehendes Real-User-Monitoring zur Verwendung kommen, stattdessen soll ein Session-Replay-Mechanismus eingesetzt werden. RUM wird nicht gefordert, da es für die Verständnisgewinnung der Benutzerinteraktionen weniger aussagekräftig ist als Session-Replay. Bei Session-Replay werden die Benutzerinteraktionen im Kontext dargestellt und nicht gesondert oder abstrahiert, was für eine Nachvollziehbarkeit hinderlich sein kann. Beim Session-Replay wird jedoch jedwede Ein- und Ausgaben der Webanwendung aufgezeichnet, damit dies nicht ein zu großes Datenvolumen erzeugt und um den Nutzer nicht konstant zu überwachen, sollte sie standardmäßig abgeschaltet sein und nur auf expliziten Nutzerwunsch aktiviert werden.

4.3.1.2 Auswertung

Die genaue Auswertung ist Teil der Implementierung und diese Disziplin sieht keine direkten Vorgaben vor. Jedoch sind die gemeldeten Daten mit Kontextinformationen anzureichern, wenn möglich. Diese umfassen bspw. Zeitstempel, User-Agent, IP, Browser.

4.3.1.3 Präsentation

Um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu gewährleisten, sollte die Lösung die Daten auf folgende Weise den Betreibern und Entwicklern präsentieren:

1. Logdaten..
 - a) ..lassen sich einsehen.
 - b) ..lassen sich basierend auf ihren Eigenschaften filtern.
2. Fehler..
 - a) ..lassen sich einsehen,
 - b) ..lassen sich basierend auf ihren Eigenschaften filtern,

- c) ..lassen sich gruppieren.
 - d) Fehlergruppen lassen sich in Graphen visualisieren (bspw. Histogramm der Häufigkeit).
3. Metriken..
- a) ..lassen sich in Graphen visualisieren.
4. Traces..
- a) ..lassen sich einsehen,
 - b) ..lassen sich basierend auf ihren Eigenschaften filtern,
 - c) ..lassen sich als ein Trace-Gantt-Diagramm darstellen.
5. Session-Replay-Daten
- a) Mithilfe der Session-Replay-Daten soll eine videoähnliche Nachstellung einer Sitzung erstellt werden.

4.3.2 Architektur

Auf Basis der zuvor beschriebenen Grunddisziplinen wird nun eine beispielhafte Umsetzung dessen konzipiert. Genauer wird eine Architektur vorgeschlagen, welche auf die zuvor betrachteten Methoden und Praktiken zurückgreift, um eine verbesserter Nachvollziehbarkeit zu erreichen. Speziell wird im Folgeabschnitt zudem vorgeschlagen, welche Werkzeuge oder Technologien zum Einsatz kommen sollen und wie diese Komponenten miteinander kommunizieren.

Die genaue Erhebung der Daten ist Teil der Implementierung und wird hier nicht näher bestimmt. Jedoch ergeben sich aus der zuvor definierten Anforderungen zur Erhebung bereits Datenkategorien, welche von einem entsprechenden Partnersystem zu konsumieren und verarbeiten sind. Es wird zwar nicht auf spezielle Werkzeuge oder Technologien eingegangen, aber es lassen sich bereits Partnersysteme bestimmen, auf Basis der zuvor identifizierten Funktionsbereiche. Hierbei wurde zudem versucht möglichst viele Bereiche über die gleichen Partnersysteme abzubilden (vgl. Anforderung 3100), die Machbarkeit einer solchen Verknüpfung basiert auf den Ergebnissen von Kapitel 3.

So soll für die Verarbeitung von Fehler-, Log-, und Metrikdaten ein einzelnes Partnersystem verantwortlich sein, welches ermöglicht diese zu konsumieren, speichern, durchsuchen und diese zu visualisieren. Grund hierfür ist, dass die Daten gemeinsame Eigenschaften besitzen, die eine gemeinsame Verarbeitung erlauben. In der Abbildung 4.9 ist dieses System als „Log- und Monitoringplattform“ vorzufinden.

Um Traces zu konsumieren und den Betreibern und Entwicklern aufbereitet zu visualisieren, soll ein weiteres Partnersystem eingesetzt werden. Dieses System wurde als notwendig empfunden, da kein Werkzeug identifiziert werden konnte, welches neben Traces noch andere Datenkategorien zufriedenstellend abdecken kann. Auf Basis von OpenTelemetry könnten sich jedoch in Zukunft Technologien entwickeln, welches alle 3 Datenkategorien von OpenTelemetry unterstützt: Metriken, Traces und Logs. Es wurde sich zudem gegen eine weitreichende Monitoringplattform, wie z. B. New Relic oder Dynatrace, entschieden, denn hier wurde identifiziert, dass diese nicht ausreichend flexibel für verschiedene Projekte sind und zudem auch nicht erlauben, dass einzelne Komponenten ausgetauscht oder entfernt werden können.

Es ist zudem ein drittes System notwendig, um die gewünschte Funktionalität des Session-Replays einzubinden. Session-Replay ist ein spezielles und sehr konkretes Aufgabengebiet und es konnte kein Werkzeug identifiziert werden, welches sich nicht nur auf dieses Gebiet spezialisiert.

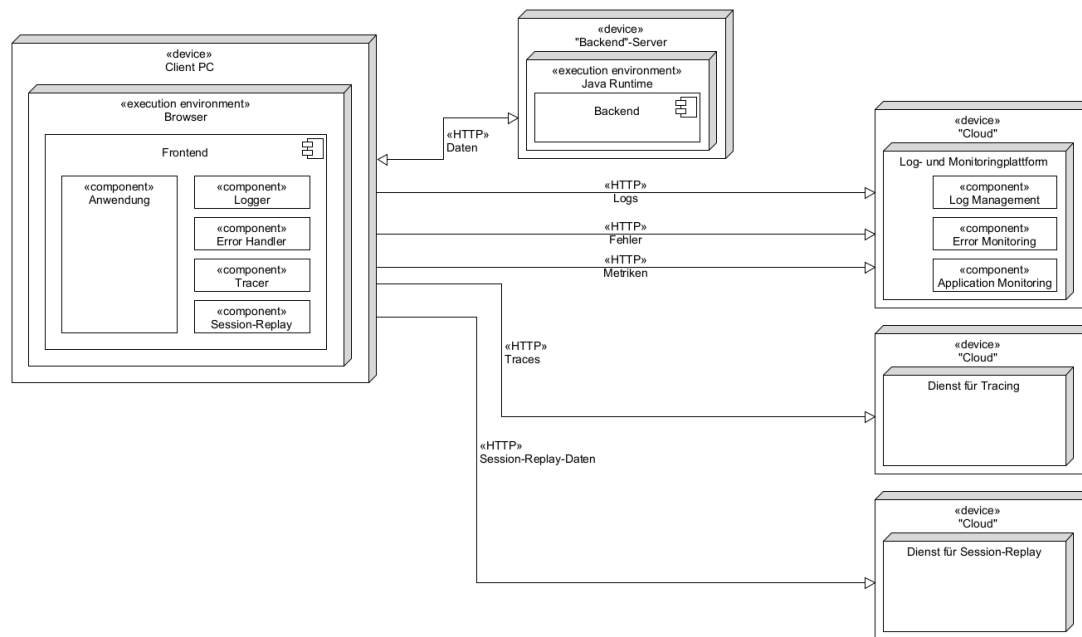


Abb. 4.9: Grobe Architektur

4.3.3 Technologie-Stack

Auf Basis der zuvor erstellten Architektur wird sich nun für spezielle Technologien entschieden, mit der diese Architektur umgesetzt werden soll. Weiterhin wird behandelt, wie

die Daten vom Frontend aus erhoben werden sollen und wie sie an die Partnersysteme gelangen.

Für die „Log- und Monitoringplattform“ wurde sich für Splunk entschieden, denn auf Basis der Evaluierung konnte festgestellt werden, dass Splunk die drei gewünschten Datenkategorien Logs, Metriken und Fehler zufriedenstellend unterstützt. Es wurde sich gegen New Relic und Dynatrace entschieden, da es diesen Werkzeugen an Flexibilität fehlt und sie viele Funktionen anbieten, die für die Lösung nicht notwendig sind. Eine weitere Alternative ist der Elastic Stack, welcher jedoch nicht näher evaluiert wurde. Somit wird Splunk eingesetzt, aber für eine äquivalente Lösung kann Splunk durch ein gleichwertiges Werkzeug ausgetauscht werden.

Für das Partnersystem, welches sich mit den Tracedaten befasst, wurde sich für Jaeger entschieden. Die Entscheidung wurde auf der Basis getroffen, dass Jaeger einen moderner Tracingdienst darstellt, welcher zudem quelloffen entwickelt wird. Weiterhin ist in Zukunft eine Unterstützung des OpenTelemetry-Standards geplant, was durch die standardisierte Schnittstelle die Anbindung an bestehende Systeme vereinfachen wird. Des Weiteren erfüllt Jaeger alle aufgestellten Kriterien und erzeugt zudem ein Abbild der Systemarchitektur auf Basis der Traces.

Um die Session-Replay-Funktionalität einzubringen wird in diesem Konzept LogRocket vorgeschlagen. LogRockets Nachstellung einer Sitzung ist nicht nur wie gefordert video-ähnlich, sondern auch interaktiv. Die gesamte HTML-Struktur wird nachgestellt und kann so zu jedem Zeitpunkt begutachtet werden.

Der sich daraus ergebende Technologiestack, angewandt auf die Architektur, ist in Abbildung 4.10 zu betrachten. Wie bei Splunk erwähnt sind auch die anderen Werkzeuge durch gleichwertige Werkzeuge ersetzbar, so können individuelle Anpassungen erfolgen und betriebliche Gegebenheiten zu berücksichtigen.

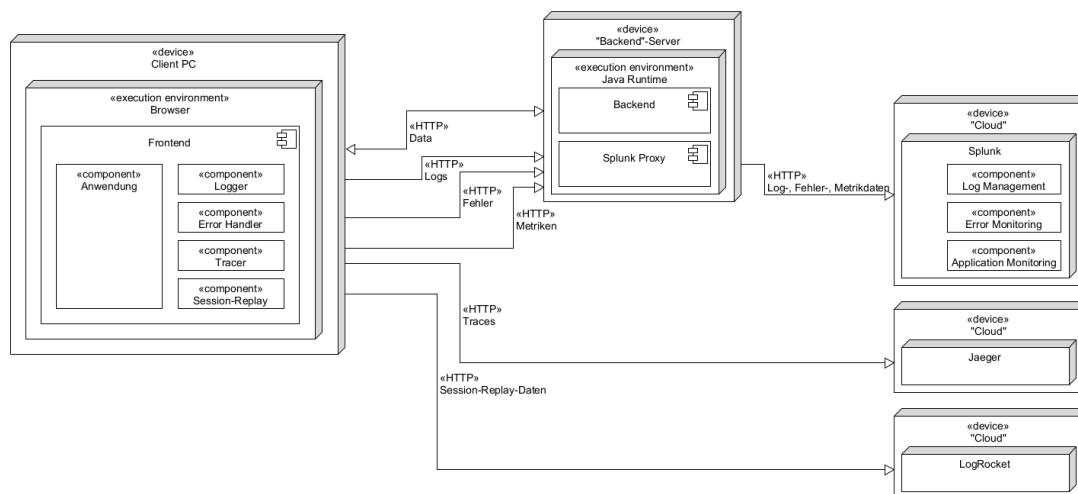


Abb. 4.10: Architektur mit speziellen Technologien

4.3.4 Übertragbarkeit

Übertragbarkeit beschäftigt sich mit der Eigenschaft eines Ansatzes in verschiedene Situationen anwendbar zu sein. Ein Ansatz ist nicht übertragbar, wenn zu vielen Annahmen über die Situation getroffen werden.

Das zuvor definierte Konzept wurde getrennt von der Demoanwendung erstellt und ist somit nicht auf dessen Eigenschaften beschränkt. Das Konzept nimmt dennoch an, dass es sich um eine Webanwendung handelt, auf das es anzuwenden ist. Weiterhin wird angenommen, dass Quellcodeänderungen vorgenommen werden können und das Partnersysteme hinzugefügt sowie angebunden werden können.

Es wird jedoch nicht angenommen, dass die Partnersysteme exakt von den vorgeschlagenen Technologien realisiert werden. Vielmehr wurde die Funktionsgruppen definiert, zusammengefasst und darauf basierend eine Auswahl getroffen. Sowohl die Zusammenfassung der Funktionsgruppen als auch die Auswahl der eigentlichen Technologien sind individuell änderbar, sodass ein angepasstes aber äquivalent hilfreiches Konzept resultiert.

Somit lässt sich abschließend betrachten, dass das Konzept eine akzeptable Übertragbarkeit aufweist. Eine tiefergehende Nachbetrachtung der Übertragbarkeit erfolgt in Abschnitt 5.3, im Anschluss an die Implementierung. Hierbei kann es zu Abweichungen

zu dieser Bewertung der Übertragbarkeit kommen, aufgrund von Implementierungsdetails oder einem geänderten Vorgehen. Auf Basis des beleuchteten Konzeptes, wird im nächsten Abschnitt die eigentliche Umsetzung beschrieben.

4.4 Implementierung

4.4.1 Backend

Wie in Unterabschnitt 4.2.2 beschrieben, wurden die Dienste mit Eclipse MicroProfile umgesetzt. Neben den standardmäßig enthaltenen Bibliotheken, gibt es hierbei aber auch unterstützte optionale Bibliotheken, wie Implementierungen von **OpenAPI**, **OpenTracing**, **Fault Tolerance** und vieler weiterer [Ecl21].

Um Traces von den Microservices zu sammeln, wurde die OpenTracing Implementierung sowie ein Jaeger-Client [Jae21a] zum Exportieren der Daten hinzugezogen. Mit dieser Anbindung lassen sich per Annotation (vgl. Quellcode 4.6) alle zu tracenden Businessmethoden definieren, die dann automatisch getraced und über den Jaeger-Client an Jaeger gesendet werden. Bei jedem Microservice wurde diese Annotation dann an relevante Methoden geschrieben und der Jaeger-Client konfiguriert, was automatisch zu der Übertragung von verteilten Traces in Jaeger führte.

```

1  @ApplicationScoped
2  public class OrderService {
3
4      @Inject
5      private ValidationService validation;
6
7      @Traced(operationName = "OrderService.placeOrder")
8      public Receipt placeOrder(Order order, ShoppingCart shoppingCart) {
9          validation.validateBillingAddress(order.getBillingAddress());
10
11         validation.validateShippingData(order.getShippingData());
12
13         /* calculate Order and prepare Receipt */
14
15         return new Receipt(/* receipt data */);
16     }
17 }

```

Quellcode 4.6: Beispielhafter Einsatz der @Traced-Annotation

In Jaeger erzeugt der o. g. Quellcode die in Abbildung 4.11 zu sehenden Spans. Neben den Traces werden keine weiteren Daten von Backend-Komponenten erhoben, da

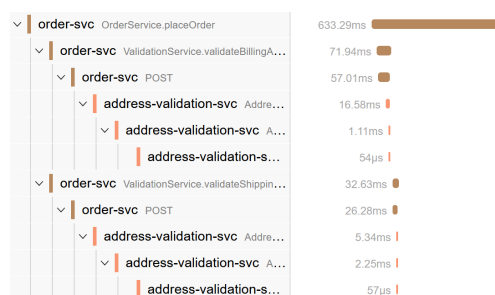


Abb. 4.11: Ausschnitt des Traces zu Quellcode 4.6

das Hauptaugenmerk der Arbeit im Frontend liegt.

4.4.2 Frontend

4.4.2.1 Traces und Metriken

Das Frontend erhebt ebenso wie das Backend Traces, aber zusätzlich werden auch Metriken, Logmeldungen und Fehler erhoben und gemeldet. Traces und Metriken werden auf Basis von OpenTelemetry JavaScript Komponenten [Ope21a] erhoben. Genauer werden diese Komponenten in einem Angular Modul (siehe Quellcode 4.7) initialisiert und der restlichen Anwendung über „providers“ zur Verfügung gestellt. Hierbei wird der SPA ein **Tracer** bereitgestellt, mit dem Spans aufgezeichnet werden können, ein **Meter**, welcher es erlaubt Metriken zu erstellen, und eine **requestCounter**-Metrik, welches die Aufzeichnung der Aufrufanzahl schnittstellenübergreifend erlaubt.

```
1 import { NGXLogger } from 'ngx-logger';
2
3 import { Tracer } from '@opentelemetry/tracing'
4 import { Meter } from '@opentelemetry/metrics';
5
6 import { AppConfig, APP_CONFIG } from 'src/app/app-config-module';
7 import { SplunkForwardingService } from 'src/app/shared/splunk-forwarding-
   svc/splunk-forwarding.service';
8
9 const tracerFactory = (log: NGXLogger, config: AppConfig): Tracer => {
10   /* Logik zum Erstellen des Tracers */
11   return tracer;
12 };
13
14 const meterFactory = (splunkFwdSvc: SplunkForwardingService): Meter => {
15   /* Logik zum Erstellen des Meters */
16   return meter;
17 };
18
19 const requestCountMetric = (meter: Meter): CounterMetric => {
20   return meter.createCounter('requestCount') as CounterMetric;
21 };
22
23
24 @NgModule({
25   providers: [
26     {
27       provide: Tracer,
28       useFactory: tracerFactory,
29       deps: [ NGXLogger, APP_CONFIG ]
30     },
```

```
31  {
32    provide: Meter,
33    useFactory: meterFactory,
34    deps: [ SplunkForwardingService ]
35  },
36  {
37    provide: CounterMetric,
38    useFactory: requestCountMetric,
39    deps: [ Meter ]
40  },
41 ]
42 })
43 export class AppObservabilityModule {
44   constructor() {}
45 }
```

Quellcode 4.7: Quellcode des Moduls „app-observability.module.ts“

Im Quellcode 4.8 ist die Benutzung des zur Verfügung gestellten **Tracers** zu sehen, hierbei wird ein Span erstellt und bei Schnittstellenaufrufen an die jeweiligen Services übergeben.

```
1  @Injectable({ providedIn: 'root' })
2  export class ShoppingCartDataSource extends DataSource<ShoppingCartItem> {
3    constructor(
4      private log: NGXLogger,
5      private cartService: ShoppingCartService,
6      private localizationService: LocalizationService,
7      private tracer: Tracer
8    ) {
9      super();
10   }
11
12   getAndMapShoppingCart(shoppingCartId: string) {
13     const span = this.tracer.startSpan( 'ShoppingCartDataSource.
14     getAndMapShoppingCart', { /* Attribute */ } );
15
16     this.log.debug('getAndMapShoppingCart(): requesting translations');
17     const translations$ = this.localizationService.getTranslations(span);
18
19     this.log.debug('getAndMapShoppingCart(): requesting shoppingCart');
20     const shoppingCart$ = this.cartService.getShoppingCart(shoppingCartId,
21     span);
22
23     return /* ... */;
```

Quellcode 4.8: Datenquelle zum Abrufen und Zusammenführen der Artikeldaten

Beispielhaft im Dienst zum Abrufen der Übersetzungsdaten (vgl. Quellcode 4.9) wird der übergebene Span als Elternspan benutzt. Bei dem eigentlichen HTTP-Aufruf wird zudem ein HTTP-Header **uber-trace-id** angereichert, den der dort laufende Jaeger-Client interpretiert [Jae21a] und daraus die Beziehung zu den Frontend-Spans herstellt. Zusätzlich zum Tracing wird hierbei auch die Metrik **requestCounter** inkrementiert.

```

1 @Injectable({ providedIn: 'root' })
2 export class LocalizationService {
3   constructor(
4     private log: NGXLogger,
5     private http: HttpClient,
6     private tracer: Tracer,
7     private traceUtil: TraceUtilService,
8     private requestCounter: CounterMetric
9   ) {}
10
11   public getTranslations(parentSpan?: api.Span) {
12     this.log.info('getTranslations(): requesting translations');
13
14     // start span with provided span as a parent
15     const span = this.tracer.startSpan(
16       'LocalizationService.getTranslations',
17       { /* attributes */},
18       parentSpan && api.setSpan(api.context.active(), parentSpan)
19     );
20
21     // generate a jaeger-compatible trace header from OTel span
22     const jaegerTraceHeader = this.traceUtil.
      serializeSpanContextToJaegerHeader(span.context());
23
24     // increment the requestCounter metric
25     this.requestCounter.add(1, { 'component': 'LocalizationService' });
26
27     return this.http.get<Localization>(
28       this.localizationServiceUrl,
29       { headers: { 'uber-trace-id': jaegerTraceHeader } }
30     )
31     .pipe(
32       tap(
33         (val) => {
34           this.log.info('getTranslations(): returnVal = ', val);
35
36           span.end();
37         },
38         (err) => {
39           // handle and record exception
40           span.recordException({ code: err.status, name: err.name,
      message: err.message });
41           span.end();
42         }
43       ),

```

```

44 |         );
45 |     }
46 | }

```

Quellcode 4.9: Service zum Abrufen der Übersetzungsdaten

Es wurde sich für die OpenTelemetry Implementierung für Tracing und Metriken im Frontend entschieden, da wie in Unterabschnitt 3.2.7 beschrieben, OpenTelemetry einen vielversprechenden Standard darstellt. Weiterhin konnte keine Bibliothek identifiziert werden, die die Traces erhebt und direkt nach Jaeger sendet. Es gibt zwar einen Jaeger-Client für Node.js¹, jedoch befindet sich das browserkompatible Pendant² seit 2017 in den Startlöchern. Weiterhin existiert ein OTel Exporter für Jaeger³, welcher jedoch auch nur mit Node.js funktioniert. Grund hierfür ist, dass das zugrundeliegende Protokoll gRPC [The21] nicht komplett aus einer Browserumgebung aus unterstützt wird [Bra21].

Die gesammelten OTel Tracingdaten werden über einen Standard-Exporter an das „Backend4Frontend“ gesendet, welcher diese dann in ein Jaeger-konformes Format umwandelt und sie dann subsequent an Jaeger überträgt. Die Metrikdaten werden jedoch bereits im Frontend konvertiert, in ein Splunk-kompatibles Logformat. Nach der Konvertierung werden die Daten an den **SplunkForwardingService** übergeben, welcher im folgenden Abschnitt näher beschrieben wird.

4.4.2.2 Logging

Das Logging im Frontend wurde über das npm [npm21] Paket **ngx-logger**⁴ realisiert, welches eine speziell an Angular angepasste Logging-Lösung darstellt. Da dieses Pakete extra an Angular angepasst ist, lässt es sich ohne großen Aufwand als Modul einbinden, vgl. Quellcode 4.10.

```

1  import { LoggerModule, NgxLoggerLevel } from 'ngx-logger';
2
3  @NgModule({
4    declarations: [
5      /* Komponenten */
6    ],
7    imports: [
8      /* andere Module */
9      LoggerModule.forRoot({
10        level: NgxLoggerLevel.DEBUG,
11      }),

```

¹Jaeger-Client für Node.js: <https://github.com/jaegertracing/jaeger-client-node>

²Jaeger-Client für Browser: <https://github.com/jaegertracing/jaeger-client-javascript/>

³OTel Jaeger Exporter: <https://github.com/open-telemetry/opentelemetry-js/tree/main/packages/opentelemetry-exporter-jaeger>

⁴ngx-logger auf GitHub: <https://github.com/dbfannin/ngx-logger>

```
12 | ],  
13 | })  
14 | export class AppModule { }
```

Quellcode 4.10: Ausschnitt des Hauptmoduls `app.module.ts`

Wie in den vorherigen Codebeispielen zum Tracing zu sehen war, kann ein `NGXLogger` im Konstruktor von Komponenten und Diensten injected werden. Logmeldungen die hiermit erfasst werden, werden je nach Konfiguration und Loglevel der jeweiligen Meldung in die Browserkonsole geschrieben. Über einen `NGXLoggerMonitor` lassen sich die Logmeldungen anzapfen, wie in Quellcode 4.11 zu sehen ist. Hierbei werden die Logmeldungen in ein Splunkformat übertragen und dann über den `SplunkForwardingService` an das „Backend4Frontend“ übertragen. Eine direkte Übertragung an Splunk ist nicht möglich, da Splunk nicht mit kompatiblen CORS-Headern antwortet. Das Backend4Frontend reicht neben dem Weiterleiten auch die Meldungen mit Kontextinformationen, wie der User-IP, der Browserversion usw. an.

```
1 | @Injectable({ providedIn: 'root' })  
2 | export class SplunkLoggingMonitor extends NGXLoggerMonitor {  
3 |     constructor(  
4 |         private log: NGXLogger,  
5 |         private splunk: SplunkForwardingService  
6 |     ) {  
7 |         super();  
8 |     }  
9 |  
10 |    onLog(logObject: NGXLogInterface): void {  
11 |        const params = this.makeParamsPrintable(logObject.additional);  
12 |  
13 |        const logEvent = {  
14 |            sourcetype: 'log',  
15 |            event: {  
16 |                severity: logObject.level,  
17 |                message: logObject.message,  
18 |                ...params,  
19 |                fileName: logObject.fileName,  
20 |                lineNumber: logObject.lineNumber,  
21 |                timestamp: logObject.timestamp  
22 |            }  
23 |        };  
24 |  
25 |        this.splunk.forwardEvent(logEvent);  
26 |    }  
27 | }
```

Quellcode 4.11: Implementierung des `NGXLoggerMonitor`-Interfaces

4.4.2.3 Fehler

Die ErrorHandler-Hook von Angular übermittelt aufgetretene und unbehandelte Fehler an den **SplunkForwardingErrorHandler**. Weiterhin ist der ErrorHandler **Injectable** in andere SPA Klassen, wo er bspw. bei den Schnittstellen dazu benutzt wird, dass auch behandelte Fehler an Splunk zu übermitteln.

Wird ein Fehler gemeldet, werden zunächst die Fehlerinformationen in einen Splunkdatensatz konvertiert und dann über den zuvor behandelten **SplunkForwardingService** an das „Backend4Frontend“ weitergeleitet. Neben diesem Verhalten wird zusätzlich auch der Fehler an LogRocket übermittelt, damit dieser im Video des Session-Replays gesondert angezeigt wird.

```
1 @Injectable({ providedIn: 'root' })
2 export class SplunkForwardingErrorHandler extends ErrorHandler {
3     private splunkForwarding: SplunkForwardingService;
4
5     constructor(injector: Injector) {
6         super();
7
8         this.splunkForwarding = injector.get(SplunkForwardingService);
9     }
10
11     handleError(error, optionalData?: any): void {
12         LogRocket.captureException(error);
13
14         const entry: SplunkEntry = {
15             sourcetype: 'error',
16             event: {
17                 ...optionalData,
18                 frontendModel: window.frontendModel,
19                 // see https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/
                JavaScript/Reference/Global_Objects/Error
20                 name: error.name,
21                 message: error.message,
22                 stack: error.stack,
23                 fileName: error.fileName, // non-standard
24                 lineNumber: error.lineNumber, // non-standard
25                 columnNumber: error.columnNumber // non-standard
26             }
27         };
28
29         this.splunkForwarding.forwardEvent(entry);
30     }
31 }
```

Quellcode 4.12: ErrorHandler zum Abfangen und Weiterleiten von aufgetretenen Fehlern

4.4.2.4 Session-Replay

LogRocket wird standardmäßig nicht aktiv, außer wenn der Nutzer explizit der Aufzeichnung zustimmt [cite]. Dies bedeutet jedoch auch, dass bis zur Zustimmung keine Sitzungsdaten aufgenommen wurden. Wenn der Nutzer zustimmt, wird, wie im Quellcode 4.13 zu sehen ist, LogRocket initialisiert und mit identifizierenden Daten angereichert. Nach dem Warenkorbdialog und nach der Eingabe der Rechnungsadresse werden zudem weitere identifizierende Daten an LogRocket übermittelt. Die Aufnahme der Sitzung läuft größtenteils autonom, lediglich behandelte Fehler müssen LogRocket manuell übermittelt werden.

```
1 @Component({
2   selector: 'app-checkout',
3   templateUrl: './checkout.component.html',
4   styleUrls: ['./checkout.component.css']
5 })
6 export class CheckoutComponent implements OnInit {
7   /* andere Methoden */
8
9   activateLogRocket() {
10    // initialize session recording
11    LogRocket.init('<app-id>', {});
12    // start a new session
13    LogRocket.startNewSession();
14    // make sessionURL accessible
15    LogRocket.getSessionURL((sessionURL) => {
16      window.logrocketData.sessionURL = sessionURL;
17    });
18    // pass unique "session"-id to LogRocket
19    LogRocket.identify(window.customer.shoppingCartId);
20  }
21
22  onShoppingCartSubmit(data: CheckoutShoppingCartInfo): void {
23    // enrich LogRocket data with ShoppingCart data
24    LogRocket.identify(window.customer.shoppingCartId, {
25      itemCount: data.itemCount,
26      totalSum: data.totalSum
27    });
28  }
29
30  onBillingAddressSubmit(data: CheckoutBillingAddress): void {
31    // enrich LogRocket data with BillingAddress data
32    LogRocket.identify(window.customer.shoppingCartId, {
33      name: data.firstName + ' ' + data.lastName,
34      email: data.email
35    });
36  }
37 }
```

Quellcode 4.13: Initialisierung von LogRocket in der Hauptkomponente

4.4.2.5 Datenweiterleitung im „Backend4Frontend“

5 Ergebnis

5.1 Demonstration

Nach Abschluss der Implementierung, 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.

Auch interessant: Wie sieht der Datendurchsatz generell aus? Wie sieht der Datendurchsatz pro Komponente aus?

5.3 Übertragbarkeit

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

5.4 Einschätzung von anderen Entwicklern (optional)

Dieser Abschnitt kann ggf. wegfallen, wenn nicht genügend Zeit besteht oder der Nutzen nicht den Aufwand gerechtfertigt.

In diesem Abschnitt werden Frontend-Entwickler mit der Demo-Anwendung konfrontiert, einerseits mit und andererseits ohne die Lösung. Daraufhin werden den Entwicklern bspw. folgende Fragen gestellt:

- 1. Wie gut entspricht die Demo-Anwendung einem realen Szenario?*
- 2. Sind die vorgestellten Probleme realitätsnah?*

3. *Wie gut lassen sich die Probleme ohne die Lösung beheben?*
4. *Wie gut lassen sich die Probleme mit der Lösung beheben?*
5. *Ist der Lösungsansatz zu komplex?*
6. *Gibt es Bedenken zum Lösungsansatz?*

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 14.01.2021 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.

Jahr	Treffer
2015	299
2016	246
2017	286
2018	238
2019	187
2020	160

Tab. 7.1: Suchtreffer zu Studien über Browserkompatibilität

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt und mich keiner fremden Hilfe bedient sowie keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften und anderen Quellen entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

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. Beispiel siehe Abschnitt 2.2

CNCF Cloud Native Computing Foundation

CORS Cross-Origin Resource Sharing

CPU Central Processing Unit, auf Deutsch „Prozessor“.

CSP Content-Security-Policy

gRPC gRPC Remote-Procedure-Call

HTTP Hyper-Text-Transfer-Protocol

OTel OpenTelemetry

PoC Proof-of-Concept

SaaS Software-as-a-Service

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

UI User-Interface

W3C World Wide Web Consortium

XBI Cross-Browser-Incompatibilities

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
3.1	Kausale Beziehung zwischen Spans. Eigene Darstellung.	12
3.2	Zeitliche Beziehung zwischen Spans. Eigene Darstellung.	12
3.3	Fehlerbericht in der Instagram App [Fac20a]	12
3.4	Mitschneiden von DOM-Events, Abb. aus [BBKE13]	14
3.5	Abspielen von DOM-Events, Abb. aus [BBKE13]	15
3.6	Schaubild einer Lösung auf Basis von OTel [Ope20c]	16
3.7	OTel Komponenten [Dyn20]	17
4.1	Demoanwendung: Deployment-Diagramm, Quelle: Eigene Darstellung . . .	37
4.2	Demoanwendung: Startseite „Warenkorb“	38
4.3	Demoanwendung: Seite „Rechnungsadresse“	39
4.4	Demoanwendung: Seite „Lieferdaten“	40
4.5	Demoanwendung: Seite „Zahlungsdaten“	42
4.6	Demoanwendung: Seite „Bestellübersicht“	43
4.7	Demoanwendung: Finale Seite „Bestellbestätigung“	44
4.8	Fehlende Texte	44
4.9	Grobe Architektur	49
4.10	Architektur mit speziellen Technologien	51
4.11	Ausschnitt des Traces zu Quellcode 4.6	52

Tabellenverzeichnis

3.1	19
3.2	20
3.3	22
3.4	23
4.1	Merkmale nach dem Kano-Modell der Kundenzufriedenheit	25
4.2	Kategorien der Anforderungen	26
4.3	Quellen der Anforderungen	27
4.4	Beispiel einer Anforderung	27
7.1	Suchtreffer zu Studien über Browserkompatibilität	64

Quellcodeverzeichnis

4.1	Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Warenkorb“	33
4.2	Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Rechnungsadresse“ ..	33
4.3	Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Lieferadresse“	34
4.4	Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Zahlungsdaten“	35
4.5	Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Bestellung abschließen“	36
4.6	Beispielhafter Einsatz der @Traced-Annotation	52
4.7	Quellcode des Moduls „app-observability.module.ts“	53
4.8	Datenquelle zum Abrufen und Zusammenführen der Artikeldaten	54
4.9	Service zum Abrufen der Übersetzungsdaten	55
4.10	Ausschnitt des Hauptmoduls <code>app.module.ts</code>	56
4.11	Implementierung des <code>NGXLoggerMonitor</code> -Interfaces	57
4.12	ErrorHandler zum Abfangen und Weiterleiten von aufgetretenen Fehlern .	58
4.13	Initialisierung von LogRocket in der Hauptkomponente	59

Literaturverzeichnis

- [ABC⁺16] AHMED, Tarek M. ; BEZEMER, Cor-Paul ; CHEN, Tse-Hsun ; HASSAN, Ahmed E. ; SHANG, Weiyi: Studying the effectiveness of application performance management (APM) tools for detecting performance regressions for web applications: an experience report. In: *2016 IEEE/ACM 13th Working Conference on Mining Software Repositories (MSR)* IEEE, 2016, S. 1–12
- [Ado21] ADOBE: *Adobe Analytics for deeper insights*. <https://www.adobe.com/analytics/adobe-analytics.html>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [AMWR20] ASROHAH, Hanun ; MILAD, Mohammad K. ; WIBOWO, Achmad T. ; RHOFITA, Erry I.: Improvement of academic services using mobile technology based on single page application. In: *Telfor Journal* 12 (2020), Nr. 1, S. 62–66
- [App21] APPDYNAMICS: *Application Performance Management (APM) / Produkt / AppDynamics*. https://www.appdynamics.com/de_de/product/application-performance-management, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [BBKE13] BURG, Brian ; BAILEY, Richard ; KO, Andrew J. ; ERNST, Michael D.: Interactive Record/Replay for Web Application Debugging. In: *Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology*, 2013, S. 473–484
- [BJS⁺08] BETTENBURG, Nicolas ; JUST, Sascha ; SCHRÖTER, Adrian ; WEISS, Cathrin ; PREMRAJ, Rahul ; ZIMMERMANN, Thomas: What makes a good bug report? In: *Proceedings of the 16th ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of software engineering*, 2008, S. 308–318
- [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]

- [Bra21] BRANDHORST, Johan: *The state of gRPC in the browser / gRPC*. <https://grpc.io/blog/state-of-grpc-web/>, 2021. – [Online; abgerufen am 15.02.2021]
- [Bro21] BROADCOM: *Application Performance Management*. <https://www.broadcom.com/products/software/aiops/application-performance-management>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [BT19] BRUHIN, Florian ; TAVERNINI, Luca: *Crashbin – Dokumentation*. Hochschule für Technik Rapperswil & Fachhochschule Ostschweiz, 2019
- [CGL⁺15] CITO, Jürgen ; GOTOWKA, Devan ; LEITNER, Philipp ; PELETTE, Ryan ; SULJOTI, Dritan ; DUSTDAR, Schahram: Identifying Web Performance Degradations through Synthetic and Real-User Monitoring. In: *J. Web Eng.* 14 (2015), Nr. 5&6, S. 414–442
- [CPO14] CHOUDHARY, Shaunik R. ; PRASAD, Mukul R. ; ORSO, Alessandro: XPERT: a web application testing tool for cross-browser inconsistency detection. In: *Proceedings of the 2014 International Symposium on Software Testing and Analysis*, 2014, S. 417–420
- [Dat21] DATADOG: *Cloud Monitoring as a Service / Datadog*. <https://www.datadoghq.com/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [DCZ11] DONG, Shuxia ; CHENG, Chen ; ZHOU, Yi: Research on AJAX technology application in web development. In: *2011 International Conference on E-Business and E-Government (ICEE)* IEEE, 2011, S. 1–3
- [Doc20] DOCKER: *Docker overview / Docker Documentation*. <https://docs.docker.com/get-started/overview/>, 2020. – [Online; abgerufen am 15.02.2021]
- [Dyn20] DYNATRACE: *What is OpenTelemetry? Everything you wanted to know*. <https://www.dynatrace.com/news/blog/what-is-opentelemetry/>, 2020. – [Online; abgerufen am 20.11.2020]
- [Dyn21] DYNATRACE: *The Leader in Cloud Monitoring / Dynatrace*. <https://www.dynatrace.com/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [EAN17] ENGLEHARDT, Steven ; ACAR, Gunes ; NARAYANAN, Arvind: No boundaries: Exfiltration of personal data by session-replay scripts. In: *Freedom to tinker* 15 (2017), S. 3–4
- [Ecl21] ECLIPSE FOUNDATION: *MicroProfile / projects.eclipse.org*. <https://projects.eclipse.org/projects/technology.microprofile>, 2021. – [Online; abgerufen am 10.02.2021]

- [Ela21] ELASTICSEARCH: *Elastic Stack: Elasticsearch, Kibana, Beats & Logstash / Elastic*. <https://www.elastic.co/elastic-stack>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Fac20a] FACEBOOK: *Instagram App Screenshot*. <https://www.instagram.com/>, 2020
- [Fac20b] FACEBOOK: *React - A JavaScript library for building user interfaces*. <https://reactjs.org>, 2020. – [Online; abgerufen am 12.10.2020]
- [FČ18] FILIP, Petr ; ČEGAN, Lukáš: Webalyt: Implemetation of architecture for capturing web user behaviours with feedback propagation. In: *2018 28th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA)* IEEE, 2018, S. 1–5
- [Fil20] FILIPE, Ricardo Ângelo S.: *Client-Side Monitoring of Distributed Systems*, Universidade de Coimbra, Diss., 2020
- [Flu21] FLUENTD PROJECT: *Fluentd / Open Source Data Collector / Unified Logging Layer*. <https://www.fluentd.org/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Fra20] FRANEY, Logan: *What is observability? / Dynatrace blog*. <https://www.dynatrace.com/news/blog/what-is-observability/>, 2020
- [Fre91] FREEDMAN, Roy S.: Testability of software components. In: *IEEE transactions on Software Engineering* 17 (1991), Nr. 6, S. 553–564
- [Ful21] FULLSTORY: *FullStory: Build a More Perfect Digital Experience / FullStory*. <https://www.fullstory.com/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Fun21] FUNCTIONAL SOFTWARE: *About Sentry / Sentry*. <https://sentry.io/about/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Gar20] GARTNER: *Gartner Magic Quadrant for Application Performance Monitoring*. <https://www.gartner.com/en/documents/3983892/magic-quadrant-for-application-performance-monitoring>, 2020. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Gar21] GARTNER: *Web and Mobile App Analytics Reviews and Ratings / Gartner Peer Insights*. <https://www.gartner.com/reviews/market/web-mobile-app-analytics>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [GB20] GREIF, Sacha ; BENITTE, Raphaël: *State of JS 2020: Front-end Frameworks*. <https://2020.stateofjs.com/en-US/technologies/front-end-frameworks/>, 2020. – [Online; abgerufen am 15.11.2020]
- [Goo20] GOOGLE: *Angular*. <https://angular.io>, 2020. – [Online; abgerufen am 12.10.2020]

- [Goo21] GOOGLE: *Analytics Tools & Solutions for Your Business - Google Analytics*. <https://marketingplatform.google.com/about/analytics/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Gra21] GRAYLOG: *Industry Leading Log Management | Graylog*. <https://www.graylog.org/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [HMQLJ21] HERNÁNDEZ, Cristian M. ; MARTÍNEZ, Alexandra ; QUESADA-LÓPEZ, Christian ; JENKINS, Marcelo: Comparison of End-to-End Testing Tools for Microservices: A Case Study. In: *International Conference on Information Technology & Systems* Springer, 2021, S. 407–416
- [Ins21] INSPECTLET: *Inspectlet - Session Recording, Website Heatmaps, Javascript A/B Testing, Error Logging, Form Analytics*. <https://www.inspectlet.com/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Ivy13] IVY WIGMORE: *What is Gartner? - Definition from WhatIs.com*. <https://whatis.techtarget.com/definition/Gartner>, 2013. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Jae21a] JAEGER AUTHORS: *Client Libraries - Jaeger documentation*. <https://www.jaegertracing.io/docs/1.21/client-libraries/>, 2021. – [Online; abgerufen am 15.02.2021]
- [Jae21b] JAEGER AUTHORS: *Jaeger: open source, end-to-end distributed tracing*. <https://www.jaegertracing.io/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Jos19] JOSEPHSEN, Dave: iVoyeur: Distributive Tracing. In: *;login*: 44 (2019), Nr. 4, S. 56. – ISSN 1044–6397
- [JSD15] JADHAV, Madhuri A. ; SAWANT, Balkrishna R. ; DESHMUKH, Anushree.: Single Page Application using AngularJS. In: *International Journal of Computer Science and Information Technologies* 6 (2015), Nr. 3, S. 2876–2879
- [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
- [Kan68] KANO, Noriaki: Concept of TQC and its Introduction. In: *Kuei* 35 (1968), Nr. 4, S. 20–29
- [Kie10] KIENLE, Holger M.: It's about time to take JavaScript (more) seriously. In: *IEEE software* 27 (2010), Nr. 3, S. 60–62
- [KKV19] KALUŽA, Marin ; KALANJ, Marijana ; VUKELIĆ, Bernard: A comparison of back-end frameworks for web application development. In: *Zbornik veleučilišta u rijeci* 7 (2019), Nr. 1, S. 317–332

- [Kop14] *Kapitel Appendix B - History of Web Programming.* In: KOPEC, David: *Evolution of the Web Browser*. Springer, 2014, S. 283–286
- [LGB19] LEGEZA, Vladimir ; GOLUBTSOV, Anton ; BEYER, Betsy: Structured Logging: Crafting Useful Message Content. In: *:login;* Summer 2019, Vol. 44 (2019), Nr. 2
- [LLG⁺19] LI, Wubin ; LEMIEUX, Yves ; GAO, Jing ; ZHAO, Zhuofeng ; HAN, Yanbo: Service mesh: Challenges, state of the art, and future research opportunities. In: *2019 IEEE International Conference on Service-Oriented System Engineering (SOSE)* IEEE, 2019, S. 124–127
- [Log21] LOGROCKET: *LogRocket / Logging and Session Replay for JavaScript Apps*. <https://logrocket.com/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Maj18] MAJORS, Charity: Observability for Emerging Infra: What Got You Here Won't Get You There. In: *SREcon18 Europe/Middle East/Africa (SREcon18 Europe)*. Dusseldorf : USENIX Association, August 2018. – Folien 14–17
- [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-for-01.15,2020>. – [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]
- [MM21] MOZILLA ; MITWIRKENDE individuelle: *Ajax - Developer guides / MDN*. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Guide/AJAX>, 2021. – [Online; abgerufen am 11.02.2021]

- [New21] NEW RELIC: *New Relic / Deliver more perfect software*. <https://opentelemetry.io/registry/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [NMMA16] *Kapitel The Microservices Way*. In: NADAREISHVILI, Irakli ; MITRA, Ronnie ; McLARTY, Matt ; AMUNDSEN, Mike: *Microservice architecture: aligning principles, practices, and culture*. O'Reilly Media, Inc., 2016, S. 3–8
- [Nor06] NORTH, Dan: *Introducing BDD*. <https://dannorth.net/introducing-bdd/>, 2006. – [Online; abgerufen am 22.01.2021]
- [npm21] NPM: *npm / About*. <https://www.npmjs.com/>, 2021. – [Online; abgerufen am 15.02.2021]
- [OHH⁺16] OKANOVIĆ, Dušan ; HOORN, André van ; HEGER, Christoph ; WERT, Alexander ; SIEGL, Stefan: Towards performance tooling interoperability: An open format for representing execution traces. In: *European Workshop on Performance Engineering* Springer, 2016, S. 94–108
- [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]
- [Ope20a] OPENCENSUS: *OpenCensus*. <https://opencensus.io/introduction/#overview>, 2020. – [Online; abgerufen am 19.11.2020]
- [Ope20b] OPENTELEMETRY: *About / OpenTelemetry*. <https://opentelemetry.io/about/>, 2020. – [Online; abgerufen am 19.11.2020]
- [Ope20c] OPENTELEMETRY: *opentelemetry-specification/unified-collection.png*. <https://github.com/open-telemetry/opentelemetry-specification/blob/8e7b2cc17f2c572282c4e5e4d3cc54401749d8ff/specification/logs/img/unified-collection.png>, 2020. – [Online; abgerufen am 19.11.2020]
- [Ope20d] OPENTRACING: *The OpenTracing Semantic Specification*. <https://github.com/opentracing/specification/blob/c064a86b69b9d170ace3f4be7dbacf47953f9604/specification.md>, 2020. – [Online; abgerufen am 11.12.2020]

- [Ope20e] OPENTRACING: *What is Distributed Tracing?* <https://opentracing.io/docs/overview/what-is-tracing/>, 2020. – [Online; abgerufen am 19.11.2020]
- [Ope21a] OPENTELEMETRY: *open-telemetry/opentelemetry-js: OpenTelemetry JavaScript API and SDK*. <https://github.com/open-telemetry/opentelemetry-js>, 2021. – [Online; abgerufen am 15.02.2021]
- [Ope21b] OPENTELEMETRY: *Tracking OTel Spec Issues for GA*. <https://github.com/open-telemetry/opentelemetry-specification/issues/1118>, 2021. – [Online; abgerufen am 29.01.2021]
- [Ope21c] OPENTELEMETRY: *Write guidelines and specification for logging libraries to support OpenTelemetry-compliant logs*. <https://github.com/open-telemetry/opentelemetry-specification/issues/894>, 2021. – [Online; abgerufen am 29.01.2021]
- [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]
- [PCQ⁺18] PICORETI, Rodolfo ; CARMO, Alexandre P. ; QUEIROZ, Felipe M. ; GARCIA, Anilton S. ; VASSALLO, Raquel F. ; SIMEONIDOU, Dimitra: Multilevel observability in cloud orchestration. In: *2018 IEEE 16th Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, 16th Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, 4th Intl Conf on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTech)* IEEE, 2018, S. 776–784
- [Pow06] POWERS, Shelley: *Learning JavaScript*. O'Reilly Media Inc., 2006 (Java Series). – ISBN 9780596527464
- [Pro21] PROMETHEUS AUTOREN: *Prometheus - Monitoring system & time series database*. <https://prometheus.io/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [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]
- [Rel21] RELIC, New: *Why the Future Is Open, Connected, and Programmable*. <https://newrelic.com/resources/ebooks/what-is-observability>, 2021
- [Rol21] ROLLBAR: *Rollbar - Error Tracking Software for JavaScript, PHP, Ruby, Python and more*. <https://rollbar.com/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]

- [Sma19] SMARTBEAR SOFTWARE: *Gherkin Syntax*. <https://cucumber.io/docs/gherkin/>, 2019. – [Online; abgerufen am 14.11.2020]
- [Sol21] SOLARWINDS WORLDWIDE: *Papertrail - cloud-hosted log management, live in seconds*. <https://www.papertrail.com/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Spl21a] SPLUNK: *Machine Data Management & Analytics | Splunk Enterprise*. https://www.splunk.com/en_us/software/splunk-enterprise.html, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Spl21b] SPLUNK: *Splunk APM | DevOps | Splunk*. https://www.splunk.com/en_us/software/splunk-apm.html, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [SS97] *Kapitel Introduction*. In: SOMMERVILLE, Ian ; SAWYER, Pete: *Requirementsengineering: a good practice guide*. John Wiley and Sons, 1997, S. 7–8
- [Sta21a] STACKSHARE: *What are the best Exception Monitoring Tools?* <https://stackshare.io/exception-monitoring>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Sta21b] STACKSHARE: *What are the best Log Management Tools?* <https://stackshare.io/log-management>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Sta21c] STACKSHARE: *What are the best Monitoring Tools?* <https://stackshare.io/monitoring>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Sta21d] STACKSHARE: *What are the best Performance Monitoring Tools?* <https://stackshare.io/performance-monitoring>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Sta21e] STACKSHARE: *What are the best User-Feedback-as-a-Service Tools?* <https://stackshare.io/user-feedback-as-a-service>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Sta21f] STATCOUNTER: *Desktop Browser Market Share Worldwide (Jan - Dec 2020)*. <https://gs.statcounter.com/browser-market-share/desktop/worldwide/2020,01> 2021. – [Online; abgerufen am 15.01.2021]
- [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* ACM, 2020, S. 85–96
- [The20] THE LINUX FOUNDATION: *What is Kubernetes? | Kubernetes*. <https://kubernetes.io/docs/concepts/overview/what-is-kubernetes/>, 2020. – [Online; abgerufen am 15.02.2021]

- [The21] THE LINUX FOUNDATION: *About gRPC / gRPC*. <https://grpc.io/about/>, 2021. – [Online; abgerufen am 15.02.2021]
- [Tra21] TRACKJS: *JavaScript Error Logging - TrackJS*. <https://trackjs.com/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [TVNP13] TOVARNÁK, Daniel ; VAEKOVÁ, Andrea ; NOVÁK, Svatopluk ; PITNER, Tomáš: Structured and interoperable logging for the cloud computing Era: The pitfalls and benefits. In: *2013 IEEE/ACM 6th International Conference on Utility and Cloud Computing* IEEE, 2013, S. 91–98
- [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 29.10.2020]
- [Wat18] WATERHOUSE, Peter: *Monitoring and Observability — What’s the Difference and Why Does It Matter? – The New Stack*. <https://thenewstack.io/monitoring-and-observability-whats-the-difference-and-why-does-it-matter/>, 2018
- [WC14] WALKER, Jeffrey D. ; CHAPRA, Steven C.: A client-side web application for interactive environmental simulation modeling. In: *Environmental Modelling & Software* 55 (2014), S. 49–60
- [YM20] YOU, Evan ; MITWIRKENDE individuelle: *Vue.js*. <https://vuejs.org/>, 2020. – [Online; abgerufen am 12.10.2020]
- [ZHF⁺15] ZHU, Jieming ; HE, Pinjia ; FU, Qiang ; ZHANG, Hongyu ; LYU, Michael R. ; ZHANG, Dongmei: Learning to log: Helping developers make informed logging decisions. In: *2015 IEEE/ACM 37th IEEE International Conference on Software Engineering* Bd. 1 IEEE, 2015, S. 415–425
- [Zip21] ZIPKIN AUTOREN: *Jaeger: open source, end-to-end distributed tracing*. <https://zipkin.io/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]