

Bachelorthesis

Nachvollziehbarkeit von Nutzerinteraktionen und Anwendungsverhalten am Beispiel JavaScript-basierter Webanwendungen

An der Fachhochschule Dortmund
im Fachbereich Informatik
Studiengang Software- und Systemtechnik
Vertiefung Softwaretechnik
erstellte Bachelorthesis
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, 2. März 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
2.2	JavaScript	5
2.2.1	Cross-Origin Resource Sharing (CORS)	6
2.2.2	Content-Security-Policy	7
2.3	Rich-Internet-Applications	7
2.3.1	Single-Page-Applications	8
2.4	Nachvollziehbarkeit/Observability	8
2.4.1	Nachvollziehbarkeit bei SPAs	9
2.4.1.1	Logdaten	9
2.4.1.2	Fernzugriff	10
3	Methoden und Praktiken	11
3.1	Methoden für eine bessere Nachvollziehbarkeit	11
3.1.1	Fehlerberichte	11
3.1.2	Die Grundpfeiler der Observability	11
3.1.2.1	Logging	12
3.1.2.2	Metriken	12
3.1.2.3	Tracing	13
3.1.3	OpenTelemetry	14
3.1.4	Application-Performance-Monitoring (APM)	16
3.1.4.1	Infrastructure-Monitoring (IM)	17
3.1.4.2	Application-and-Service-Monitoring (ASM)	17
3.1.4.3	Real-User-Monitoring (RUM)	18

3.1.4.4	Error-Monitoring	18
3.1.4.5	Distributed-Tracing	18
3.1.5	Log-Management	19
3.1.6	Session-Replay	19
3.2	Werkzeuge und Technologien	20
3.2.1	Recherche	20
3.2.2	Übersicht	21
3.2.3	Kategorisierung	22
3.2.4	Vorauswahl	25
3.2.5	Kriterien	26
3.2.6	Bewertung	27
3.2.7	Vorstellung der Technologien	30
3.2.7.1	Splunk	30
3.2.7.2	Jaeger	31
3.2.7.3	Sentry	32
3.2.7.4	LogRocket	34
4	Erstellung Proof-of-Concept	36
4.1	Vorstellung der Demoanwendung	36
4.1.1	Verhaltensdefinition	36
4.1.2	Backend	40
4.1.3	Frontend	42
4.1.3.1	Warenkorb	42
4.1.3.2	Rechnungsadresse	43
4.1.3.3	Lieferdaten	44
4.1.3.4	Zahlungsdaten	45
4.1.3.5	Bestellübersicht	46
4.1.3.6	Bestellbestätigung	47
4.1.4	Fehlerszenarien	48
4.1.4.1	„Keine Übersetzungen“	48
4.1.4.2	„Gültige Straßen sind ungültig“	49
4.1.4.3	„Gültige Städte sind ungültig“	49
4.1.4.4	„Ungültige Adressen sind gültig“	49
4.1.4.5	„Vor- und Nachnamen werden abgeschnitten“	49
4.1.4.6	„Falsche Zahlungsart“	50
4.1.4.7	„Lange Verarbeitung“	50
4.2	Anforderungen	50
4.2.1	Definitionen	50
4.2.2	Anforderungsanalyse	52
4.2.3	Anforderungsliste	52
4.2.3.1	Funktionsumfang	53
4.2.3.2	Eigenschaften	55

Inhaltsverzeichnis

4.2.3.3	Partnersysteme	55
4.3	Konzept	57
4.3.1	Datenverarbeitung	57
4.3.1.1	Erhebung	58
4.3.1.2	Auswertung	58
4.3.1.3	Präsentation	58
4.3.2	Architektur	59
4.3.3	Technologie-Stack	61
4.3.4	Übertragbarkeit	62
4.4	Implementierung	63
4.4.1	Backend	63
4.4.2	Frontend	64
4.4.2.1	Datenweiterleitung im „Backend4Frontend“	64
4.4.2.2	Traces und Metriken	64
4.4.2.3	Logging	68
4.4.2.4	Fehler	69
4.4.2.5	Session-Replay	70
4.4.3	Architektur	72
5	Ergebnis	74
5.1	Demonstration	74
5.2	Kriterien	74
5.3	Übertragbarkeit	74
6	Abschluss	75
6.1	Fazit	75
6.2	Ausblick	75
	Anhang	76
7	Anhang	76
7.1	Studien zur Browserkompatibilität	76
	Eidesstattliche Erklärung	77
	Abkürzungsverzeichnis	78
	Abbildungsverzeichnis	79
	Tabellenverzeichnis	80
	Quellcodeverzeichnis	80

Literaturverzeichnis

82

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 [W3C20a], 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.

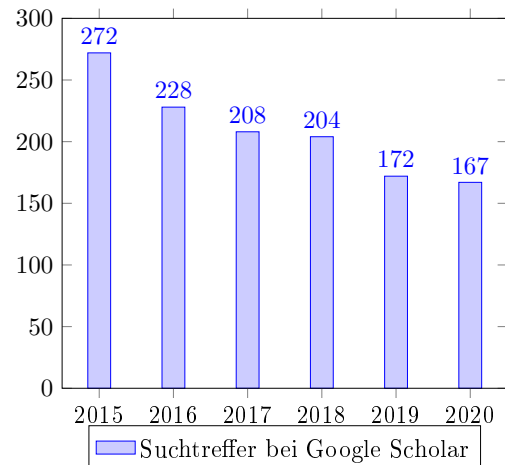


Abb. 2.1: Studien zur Browserkompatibilität, eigene Darstellung (vgl. 7.1)

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. Zum 30.11.2020 stellte Microsoft zudem den Support für den Internet Explorer 11 ein [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.

2.2 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 Funktion 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 von Ajax durch das W3C [W3C06] das Konzept Anklang bei Entwicklern [Dog20] [IF14] 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.

2.2.1 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.

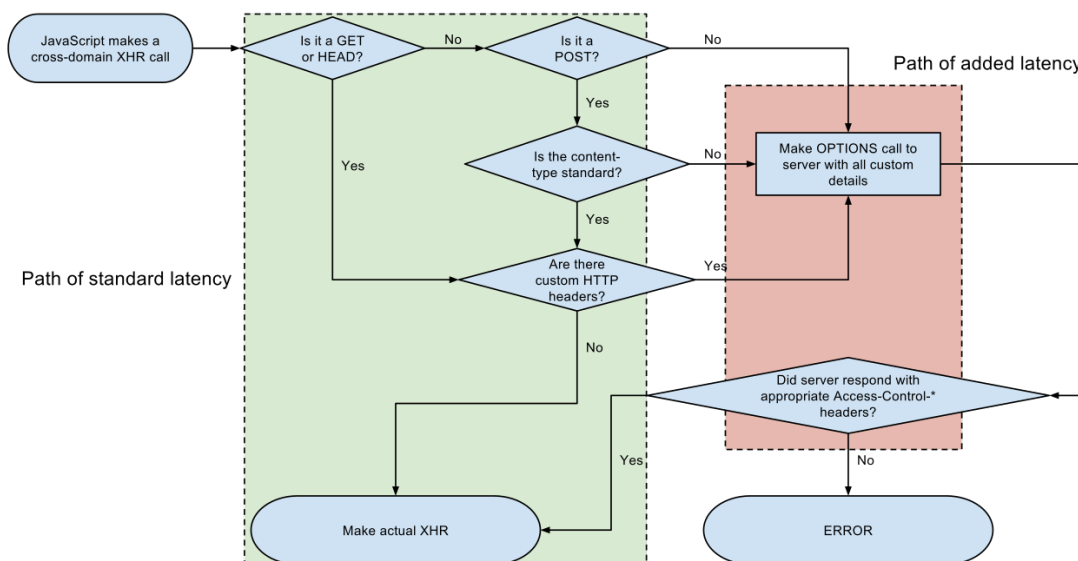


Abb. 2.2: Flowchart über den Ablauf von Ajax-Anfragen mit CORS [Blu15]

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].

2.2.2 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 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 Rich-Internet-Applications

Rich-Internet-Applications (RIA, oder auch Rich-Web-Application) werden oftmals damit assoziiert, dass sie Webanwendungen darstellen, welche Merkmale und Funktionalitäten einer Desktopanwendung besitzen [CGM14] [PLSC05]. Sie besitzen bspw. erweiterte Interaktionsmöglichkeiten (wie Drag-And-Drop), eine detail- und funktionsreiche Benutzeroberfläche mit Fokus auf Benutzbarkeit sowie bieten sie meist eine erhöhte Responsiveness im Vergleich zu klassischen Webanwendungen [CGM14].

RIAs begründen ihre Anfänge nicht etwa erst mit der Standardisierung von Ajax, sondern erste Ansätze gab es bereits ohne die notwendige JavaScript-Unterstützung. 2002 wurde das Produkt Macromedia Flash MX von Macromedia veröffentlicht, welches eine an Macromedia Flash (später Adobe Flash) angelehnte Laufzeitumgebungen war, die speziell für RIAs entwickelt wurde [All02]. Der Begriff der Rich-Internet-Application wurde mit Macromedia Flash MX geprägt [CGM14]. Weiterhin wurden RIAs mit einer Vielzahl von Technologien umgesetzt, wie z. B. mit Macromedia Flex (später Adobe Flex nun Apache Flex) oder Java Applets [PLSC05] [FN07] [FRSF10] [IF14].

Neben den Vorteilen einer RIA, besitzen diese jedoch auch einige Nachteile. RIAs in jedweder Form stellen eine Herausforderung für Webcrawler dar und erschweren oder verhindern so, die Indexierung der Seite durch Suchmaschinen [CDM⁺12]. Manche RIAs benötigen extra Umgebungen, die meist via Plugins in den Browser eingebunden werden, jedoch wurde 2020 der Support für Adobe Flash eingestellt [Men19]. Heutzutage sind aber Ajax-basierte RIAs [FN07] die Norm, sog. Rich-Web-Based-Applications [DD18] [Men19]. Neben diesen Aspekten leiden jedoch RIAs meist darunter, dass sie die Konzepte zur Barrierefreiheit in Browsern nicht nutzen. Hierfür gibt es jedoch seit 2011 eine Empfehlung des W3C [W3C20b], um die Barrierefreiheit auch bei RIAs zu gewährleisten.

2.3.1 Single-Page-Applications

Single-Page-Applications (SPAs) stellen eine spezielle Form von Rich-Web-Based-Applications dar. Sie gehen bei der dynamischen Inhaltsdarstellung jedoch einen Schritt weiter [JSD15]: Die gesamte Anwendung wird über ein einziges HTML-Dokument und die darin referenzierten Inhalte erzeugt. Im Client sind nun nicht nur erweiterte Interaktionen eine Charakteristik, sondern der Client wird erhält einen lokalen Zustand, der gepflegt wird. Wird beispielsweise eine neue Seite aufgerufen, wird anstatt einer Dokumentenabfrage via HTTP ein interner Zustand geändert, welcher dann DOM-Manipulationen auslöst, die die Seite ändern.

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 stark clientbasierte Herangehensweise 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 [JSD15], hinzukommend stehen heutzutage eine große Auswahl an erprobten Technologien in diesem Gebiet zur Verfügung [GB20].

2.4 Nachvollziehbarkeit/Observability

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.

2.4.1 Nachvollziehbarkeit bei SPAs

Speziell in dieser Arbeit wird die Nachvollziehbarkeit bei Webanwendungen näher betrachtet. Wie zuvor in Unterabschnitt 2.3.1 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.

2.4.1.1 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.

2.4.1.2 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

Wie aus Abschnitt 2.4 bietet Nachvollziehbarkeit einen wichtigen Mehrwert für Entwickler und Betreiber von Webanwendungen, wie aber kann eine verbesserte Nachvollziehbarkeit erreicht werden? In diesem Abschnitt werden einige Methoden vorgestellt mit denen diesen Ziel erreicht werden kann.

3.1.1 Fehlerberichte

Fehlerberichte sind klassisches Mittel, um den Nutzer selbst aktiv werden zu lassen und zu erfragen, welche Aktionen er durchgeführt hat und was schiefgelaufen ist (vgl. Abbildung 3.1). Hiermit können Fehler, aber auch unverständliche Workflows, aufgedeckt werden. Weiterhin können Informationen des Nutzers ermittelt werden, wie es hierzu gekommen ist und warum es ein Problem darstellt, vorausgesetzt er gibt dies an.

Konträr zu diesen Vorteilen stehen jedoch die von Bettenburg *et al.* [BJS⁺08] gesammelten 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. 3.1: Fehlerbericht in der Instagram App [Fac20a]

3.1.2 Die Grundpfeiler der Observability

Da Fehlerberichte somit nicht ausreichend sind, um den Entwicklern eine ausreichende Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, sind zusätzliche Konzepte notwendig um dies zu

erreichen. Nach Sridharan *et al.* [Sri18] sowie [SM21] [LVG⁺18] [PCQ⁺18] existieren drei Grundpfeiler der Observability, die in ihrer Funktion einzigartig sind und sich gegenseitig ergänzen: Logs, Metriken und Traces.

3.1.2.1 Logging

Logging bezeichnet die systematische Protokollierung von Softwareprozessen und ihren internen Zuständen [ZHF⁺15]. Diese erstellten Protokolle werden Logs genannt, 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 in einer Produktivumgebung nachvollziehen können [CCP12] [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 Unterunterabschnitt 2.4.1.1 erläutert.

Logmeldungen erfolgen meist textbasiert und in einem menschenlesbaren Format. Wenn nun ein Aggregator 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.

3.1.2.2 Metriken

Metriken sind numerische Repräsentationen von Daten, die in einer Zeitspanne aufgenommen wurden. Mithilfe von Metriken können mathematische Konzepte dazu verwendet werden, um Verständnis zu gewinnen und Vorhersagen zu treffen [Sri18]. Metriken

sind zudem optimal für effiziente Datenbankabfragen sowie eine Langzeitspeicherung geeignet, da die Struktur oftmals gleich ist, sie zum Großteil lediglich numerische Werte beinhalten sowie sind sie aggregierbar.

Beispielsweise identifiziert Prometheus [Pro21] Metriken über einen eindeutigen Namen und Schlüsselwertepaaren (vgl. Abbildung 3.2) und speichert die assoziierten Daten in einem Zeitstempel und einem Fließkommawert. Zudem können Technologien rund um die Metrikerhebung einfacher mit großen oder ansteigenden Datenaufkommen reagieren, da die Daten aggregierbar sind [Sri18]. Anders als z. B. bei Logsystemen, bei denen sich entweder die Auslastung bei mehr Daten erhöht oder Daten verworfen werden müssen, leiden Metriksysteme durch die Eigenschaften von Metriken selbst weniger darunter.

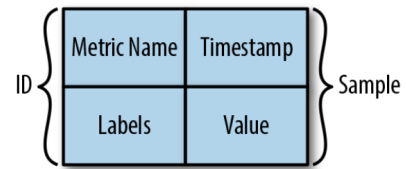


Abb. 3.2: Struktur eines Prometheus-Metrik-Datensatzes [Sri18]

Durch die Kompatibilität, mathematische Konzepte auf Metriken anwenden zu können, eignen sie sich zudem dafür, eine Übersicht eines Gesamtsystems bereitzustellen und ermöglichen so die Verfügbarkeit überprüfbar zu gestalten [PCQ⁺18] [Sri18]. Jedoch besitzen Metriken durch genau diese Eigenschaften auch Grenzen, sie können bspw. wenig aussagekräftig für das Verständnis des Verhaltens einzelner Komponenten zu einem Zeitpunkt sein. Hierbei können wiederum Logs getrennt Aufschluss über die einzelnen Komponenten bieten. Damit die Kommunikation zwischen Komponenten oder Systemen nachvollziehbar wird, besonders aus Sicht eines einzelnen ursprünglichen Aufrufs, sind weder Logs noch Metriken ausreichend zielführend - aus diesem Grund entwickelte sich das Tracing [PCQ⁺18] [Sri18].

3.1.2.3 Tracing

Tracing beschäftigt sich mit dem Aufzeichnen von Kommunikationsflüssen in Softwaresystemen [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 Tracing von verteilten Systemen nennt man „Distributed Tracing“. 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 3.3), oder auch über die zeitliche Reihenfolge der einzelnen Spans (vgl. Abbildung 3.4).

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.

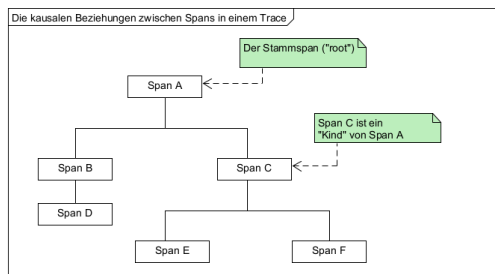


Abb. 3.3: Kausale Beziehung zwischen Spans. Eigene Darstellung.

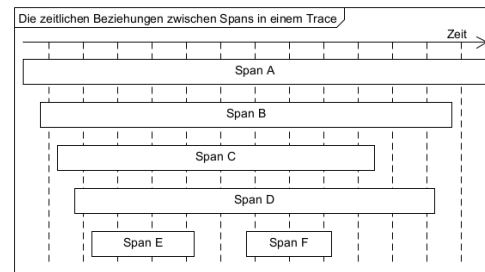


Abb. 3.4: Zeitliche Beziehung zwischen Spans. Eigene Darstellung.

3.1.3 OpenTelemetry

Es haben sich auf Basis dieser drei Grundpfeiler einige Technologien entwickelt. Jedoch sind die meisten Ansätze proprietär und nicht miteinander kompatibel, weswegen das Bedürfnis einer Standardisierung entstand. OpenTracing, OpenCensus [Ope20a] sowie OpenTelemetry [Ope20b] sind aus dieser Bewegung stammende Standards, die darauf abzielen herstellerunabhängige Observability-Konzepte zu definieren.

OpenTelemetry (OTel) ist ein sich derzeit¹ entwickelnder Standard, welcher als Ziel hat, dass das Erfassen, Weiterleiten und Verarbeiten von Tracing-, Metrik- und Logdaten² herstellerunabhängig ermöglicht wird. OTel entwickelte sich aus dem Zusammenschluss der Teams hinter den beiden Standards OpenTracing und OpenCensus, die das gleiche Ziel

¹Ein erster (General-Availability-)Release der Spezifikation ist für die erste Hälfte 2021 geplant [Ope21c] (Stand 01.03.2021)

der Vereinheitlichung, der hier existierenden Ansätze, verfolgen [Jos19]. Weiterhin versucht OTel nicht nur die bisherige Landschaft zu vereinigen, sondern definiert bspw. eine zukunftsorientierte Architektur aus unterschiedlichen Komponenten und wie diese miteinander kommunizieren [PSM⁺20]. Microsoft, Google, führende Unternehmen und Entwickler von Observability-Technologien sowie die Cloud-Native-Computing-Foundation (CNCF) arbeiten an der Entwicklung des OTel Standards [PSM⁺20] [Ope20c].

Der OpenTelemetry-Standard definiert einige Komponenten, die jeweils spezielle Aufgabengebiete erfüllen und standardisiert mit anderen Komponenten kommunizieren. Die Komponenten werden nachfolgend näher erklärt anhand des Beispiels eines Tracing-Spans sowie der Abbildung 3.5.

- **API:** Die API stellt die öffentlich sichtbare Schnittstelle der OTel-Verarbeitung (des SDKs) dar, Verwender sind Entwickler sowie instrumentierende Bibliotheken. Mit der API kann ein Entwickler einen Trace initialisieren, darauf aufbauend einen Span erzeugen und diesen Span starten.
- **Instrumentation-Library:** Bei einer solchen Bibliothek handelt es sich um eine spezifische Anbindung der OTel-API an bspw. ein Framework (wie JAX-RS oder Angular). Teilweise erlauben solche Bibliotheken auch eine automatische Erfassung der Daten, sodass bspw. bei relevanten Methoden (wie Schnittstellauufrufen) ein Span erzeugt wird.
- **SDK:** Das SDK stellt das Herzstück der Verarbeitung bei OTel dar und pflegt u. A. die Beziehung zwischen den Spans sowie reicht diese an Verarbeitungsmethoden weiter und letztendlich übergibt sie an die exportierende Komponente. Der erzeugte Span wird mit seinen Kontextinformationen im SDK vorgehalten und bei Beendigung des Spans wird dieser an die angebunden Exporter übergeben.
- **Exporter:** Exporter sind spezifische Anbindungen, die Daten im OTel-Format annimmt und diese für die Gegenstelle aufbereitet sowie an diese transportiert. Die Gegenstelle kann entweder eine Datensenke darstellen, oder auch eine weiterverarbeitende Komponente sein. In diesem Beispiel wird der Span nicht in ein anderes Format überführt, da er an einen OTel-Collector gesendet wird.
- **Collector:** Collector sind eine OTel-Schnittstelle um unterschiedliche OTel-Daten anzunehmen und diese an weitere Systeme mithilfe von Exporter zu überreichen. Bei dem Exporter in diesem Beispiel werden die Daten in das passende Format des Telemetry-Backends überführt.
- **Telemetry-Backend:** Ein Telemetry-Backend stellt die Datensenke der OTel-Daten dar und bietet den Entwicklern und Betreibern eine Visualisierung der ge-

²Die Entwicklung einer Logging-Spezifikation ist im Gange [Ope21d].

sammelten Daten. Beispiele hierfür sind z. B. Jaeger [Jae21b] oder Prometheus [Pro21].

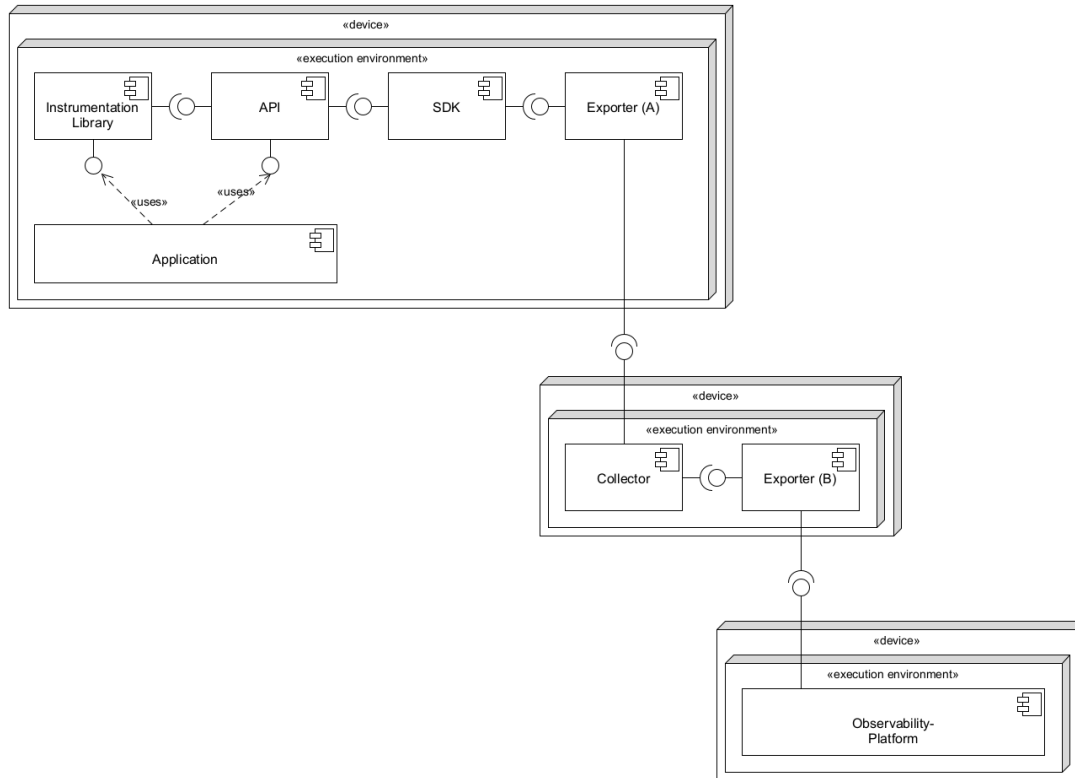


Abb. 3.5: Komponenten von OpenTelemetry, eigene Darstellung auf Basis von [Ope21b]

OpenTelemetry legt somit ein fundiertes Konzept fest, welches die Interoperabilität der derzeit existierenden Systeme erhöhen wird, vorausgesetzt der Standard wird erfolgreich veröffentlicht und auch adaptiert.

3.1.4 Application-Performance-Monitoring (APM)

In der Fachpraxis haben sich über die Jahre einige Technologien 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. Eines dieser Ansätze ist das Application-Performance-Monitoring (APM, teils auch Application-Performance-Management).

APM lässt sich nicht simpel definieren, denn es existiert kein Konsens, welche Eigenschaften und Funktionalitäten ein APM umfasst. Ahmed *et al.* [ABC⁺16], Heger *et al.* [HHMO17], Rabl *et al.* [RSJ⁺12] sowie Dynatrace [Dyn20] definieren, dass APM eine Menge an Methoden, Techniken und Werkzeugen umfasst, die das System konstant überwachen und Aufschluss über den Zustand geben, sodass die Verfügbarkeit des Systems sichergestellt werden kann. Anders definieren dies jedoch Santos Filipe [Fil20], New Relic [New20] und Gartner [Gar20], welche APM weniger allgemeingültig definieren, sondern APM eher über explizite Teilaspekte definieren, die es erfüllen muss, damit es sich um ein konformes APM handelt. Jedoch existiert hier ebenso kein Konsens, welche expliziten Aspekte erfüllt sein müssen, damit ein Monitoring-System zu einem APM wird.

In dieser Arbeit wird auf Basis der ersten und eher allgemeingültigen Definition ein APM so definiert: APM befasst sich mit dem Beobachten eines Softwaresystems und der Gewinnung von relevanten Daten aus diesem System zur näheren Analyse, um zu ermöglichen, dass Rückschlüsse über die Gesundheit des Systems gezogen werden können und so die Verfügbarkeit sichergestellt werden kann. Um dies zu erreichen, lassen sich grob 5 Fachgebiete differenzieren, die unterschiedliche Aspekte eines Softwaresystems aufdecken [FEH⁺14] [Gar20] [YZS16]:

1. Infrastruktur-Monitoring (IM)
2. Application-and-Service-Monitoring (ASM)
3. Real-User-Monitoring (RUM)
4. Error-Monitoring
5. Distributed-Tracing

3.1.4.1 Infrastructure-Monitoring (IM)

Infrastructure-Monitoring beschäftigt sich hauptsächlich mit der Überwachung der Infrastruktur. Hierbei wird bspw. die Verfügbarkeit von Netzwerkressourcen überwacht sowie die Auslastung von Hard- und Softwareressourcen. Dieses Monitoring kann ohne Anpassungen der Software erfolgen und stellt somit ein Beispiel für Black-Box-Monitoring dar [Fil20]. Beispielsweise ist die Überwachung von CPU- und Speicherausnutzung eines Containers Teil von Infrastructure-Monitoring.

3.1.4.2 Application-and-Service-Monitoring (ASM)

Anders als beim System-Monitoring handelt es sich bei Application-and-Service-Monitoring (ASM, teilweise auch Application-Component-Monitoring) um White-Box-Monitoring. Genauer bedeutet dies, dass die Softwarekomponenten angepasst werden müssen, sodass

innerhalb der Laufzeitumgebungen Daten gesammelt werden können. Beispielsweise werden die Antwortzeit von Schnittstellauufrufen protokolliert und systematisch überwacht. Auf Basis der Daten lassen sich u. A. Abweichungen von der Norm feststellen, von einzelnen Systemen oder vom aktuellen Gesamtsystem zu einem vorherigen Zeitpunkt.

3.1.4.3 Real-User-Monitoring (RUM)

Real-User-Monitoring beschäftigt sich mit dem Mitschneiden von allen Nutzerinteraktionen und Umgebungseigenschaften einer Benutzeroberfläche [CGL⁺15]. Um diese Daten zu ermitteln ist eine Änderung der Software für die Benutzeroberfläche notwendig, welches RUM zu einem White-Box-Monitoring macht. RUM wird jedoch nicht dazu verwendet, die Interaktionen eines einzelnen Nutzers aufzudecken, sondern Aufschluss über die gesamte Nutzerschaft der Anwendung zu erhalten. Die Daten werden oftmals gruppiert bspw. nach den Interaktionen oder auch nach Umgebungseigenschaften, wie dem Browser der Nutzer. Durch die Gruppierung lassen sich Probleme der User-Experience [OTMC11], aber auch Leistungsprobleme der Anwendung feststellen und ob diese Probleme den unterschiedlichen Umgebungen der Nutzer geschuldet sind [CGL⁺15].

3.1.4.4 Error-Monitoring

Das Error-Monitoring konzentriert sich auf das Erfassen und Melden von Fehlern [BT19]. Error-Monitoring lässt sich sowohl als White-Box- sowie als Black-Box-Monitoring umsetzen, da über existierende Protokollierung bereits Fehler festgestellt werden können. Hierbei kann es aber sinnvoll sein eine Software anzupassen, also White-Box-Monitoring einzusetzen, um mehr Kontextinformationen zu den Fehlern zu erfassen. Das Error-Monitoring wird oftmals eng mit einem Issue-Management verbunden, um aufgetretene Fehler und deren Behebung nachzuhalten zu machen [BT19].

3.1.4.5 Distributed-Tracing

Beim Distributed-Tracing handelt es sich um die fortgeschrittene Art des Tracings, welche systemübergreifend den Durchlauf von Abfragen protokolliert (vgl. Unterunterabschnitt 3.1.2.3). Diese Art von Monitoring gibt, anders als die anderen Arten, keine Einsicht in einzelne Komponenten, sondern veranschaulicht die resultierenden Interaktionen einer Abfrage.

3.1.5 Log-Management

Neben dem APM gibt es zudem weitere Funktionalitäten, die Technologien in der Fachpraxis vorweisen, wie z. B. das 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 [RAF19]. Um die Daten aus einer Anwendung heraus zu exportieren, gibt es meist eine Vielzahl an Integrationen für Frameworks und Logbibliotheken.

Einer der wichtigsten Aspekte des Log-Managements, ist der Fähigkeit mit großen Datenmengen umzugehen und dabei den Nutzern zu ermöglichen auf diesen Daten zu arbeiten, Analysen durchzuführen und auch alte Datensätze abrufen zu können[CSP12]. Damit die teils enormen Datenmengen den Entwicklern und Betreibern zur Verfügung stehen, aber gleichzeitig nicht das System beeinträchtigen, sind spezielle Architekturkonzepte erforderlich. Beispielsweise werden selten abgerufene oder alte Daten in einen Langzeitspeicher überführt, welcher für die Speicherung optimiert ist, aber im Gegenzug keine zeitlich effizienten Ergebnisse liefern kann [CSP12].

3.1.6 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 User-Experience (UX) nicht negativ zu beeinflussen [ČF17] [Log20].

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 von und zu der Eventloop mitgeschnitten (vgl. Abbildung 3.6).

Beim Abspielen werden die Aufrufe dann in derselben Reihenfolge an die Eventloop übergeben (vgl. Abbildung 3.7). Dies bedeutet es ist ein exaktes wiederhol-

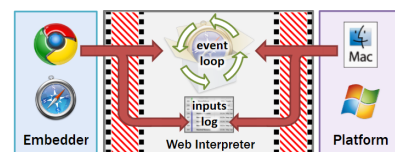


Abb. 3.6: Mitschneiden von DOM-Events, Abb. aus [BBKE13]

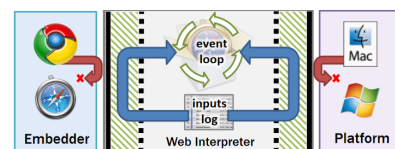


Abb. 3.7: Abspielen von DOM-Events, Abb. aus [BBKE13]

tes Ausführen in derselben Umgebung möglich und dies ermöglicht eine detaillierte Nachvollziehbarkeit des Anwendungsverhaltens. Leider wird für diesen Ansatz eine gepatchte Version von WebKit [App21b] vorausgesetzt, somit wird auch Zugriff auf das Endnutzersystem benötigt. Zur Veröffentlichung des Berichtes bedeutete dies, dass die Browser Safari, Chrome und Opera unterstützt wurden - jedoch benutzt heute nur noch der Safari Webkit. Aufgrund dieser Einschränkungen und weil es seit mehr als 5 Jahren nicht mehr gepflegt wird³, ist es ungeeignet für die hier angestrebte Lösung. Die vorgestellten Konzepte stellen jedoch nützliche Kernprinzipien für das Session Replay im Allgemeinen dar.

3.2 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.

3.2.1 Recherche

Damit das gewünschte Ziel dieses Abschnitts erreicht wird, wurde neben verfügbarer Literatur auch auf etablierte Plattformen im Gebiet der Gegenüberstellung von Technologien gesetzt. Speziell wurden hierbei Gartner⁴ sowie StackShare⁵ herangezogen. Die identifizierten Technologien werden im nachfolgenden Abschnitt veranschaulicht und kategorisiert.

Mithilfe von Gartners „Magic Quadrant for APM“ [Gar20] konnte festgestellt werden, dass folgende APM-Werkzeuge zu den führenden Technologien dieser Kategorie angehören: AppDynamics [App21a], Dynatrace (ehemals ruxit) [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. Hinzukommend wird hierbei die Application Insights [Azu21] des Azure Monitors von Microsoft in den Top 6 genannt.

Martínez *et al.* [HMLJ21] fanden in ihrer Evaluierung von Werkzeugen bei der Unterstützung von E2E-Tests, dass die beiden OpenSource-Technologien Jaeger [Jae21b] und

³Timelapse GitHub Repo <https://github.com/burg/replay-staging/>

⁴Gartner ist ein global agierendes 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]

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 [Flu21a] 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 [Sta21b] 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 darauf 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 [Goo21a], Adobe Analytics [Ado21] sowie LogRocket auf den obersten Positionen.

3.2.2 Übersicht

Folgend werden in der Tabelle 3.1 die gefundenen Technologien näher veranschaulicht. Hierbei wird untersucht, welche Funktionalitäten die jeweilige Technologie vorweist, auf Basis der Produktbeschreiben der Hersteller. Genauer werden folgende, zuvor identifizierte, Funktionalitäten unterschieden und den Technologien zugeordnet: IM, ASM, RUM, Error-Monitoring, Log-Management, (Distributed-)Tracing sowie Session-Replay. Um anzugeben, wie der Funktionsumfang der jeweiligen Funktionalität ist, wird das Vorhandensein mit folgenden 4 Schlüsseln angegeben:

1. **ja**: Die Funktionalität ist vorhanden und der Funktionsumfang entspricht der Definition.
2. **ja(*)**: Die Funktionalität ist vorhanden, aber sie ist nicht vergleichbar umfangreich wie andere Technologien.
3. **eingeschränkt**: Die Funktionalität ist nur unter bestimmten Voraussetzungen vorhanden oder ist nur teilweise implementiert.
4. **keine Angabe**: Die Funktionalität ist nicht vorhanden.

Technologie	IM	ASM	RUM	Error-Monitoring	Log-Mgmt.	Tracing	Session-Replay
Adobe Analytics	eing.	eing.	ja(*)	eingeschr.			
Airbrake	ja	ja		ja			
AppDynamics	ja	ja	ja(*)	ja	eingeschr.	ja	
Azure Monitor	ja	ja		ja	ja	ja	
Broadcom DX APM	ja	ja		teils	ja	ja	
Bugsnag				ja			
DataDog	ja	ja	ja(*)	ja	ja	ja	
Dynatrace	ja	ja	ja(*)	ja	ja	ja	
Elastic Stack	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja		
Fluentd					eingeschr.		
FullStory			ja	teils			ja
Google Analytics	eing.	eing.	ja(*)	eingeschr.			
Graylog	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja		
Inspectlet			ja	teils			ja
Jaeger						ja	
LogRocket			ja	ja			ja
New Relic	ja	ja	ja(*)	ja	ja	ja	
Papertrail	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja		
Prometheus	ja	ja					
Raygun	ja	ja	ja(*)	ja			
Rollbar			ja(*)	ja			
Sentry			ja(*)	ja			
Splunk APM (SignalFX)	ja	ja		ja		ja	
Splunk Enterprise	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja		
TrackJS			ja(*)	ja			
Zipkin						ja	

Tab. 3.1: Übersicht der untersuchten Technologien

3.2.3 Kategorisierung

Damit die Veranschaulichung übersichtlicher wird, werden die Technologien folgend auf Basis gemeinsamer Funktionalitäten kategorisiert. Diese Kategorien ähneln oft den Gruppierungen der Quellen, jedoch wurde die Kategorisierung unabhängig dessen erstellt, sondern auf Basis der eigens evaluierten Funktionalitäten. Daraus resultierend ergaben sich 6 Funktionskategorien, in die die Technologien grob einzuordnen sind:

1. APM-Plattformen

- Zu APM-Plattformen gehören allen voran Technologien, bei denen das Application- and-Service-Monitoring sowie das Infrastructure-Monitoring Kernfunktionalitäten darstellen. Jedoch begrenzen sich bis auf eines keine der Werkzeuge nur auf diese beiden Aspekte, sondern können meist mehrere andere Funktionalitäten vorweisen. Meist vertreten sind jedoch Aspekte eines Error-Monitoring, eines Log-Managements sowie eines Distributed Tracings. Neben technischen Aspekten bilden viele dieser Tools mithilfe von ASM und RUM auch Einblicke in die geschäftliche Leistung der Anwendung. Auf Basis von RUM werden teils Nutzerverhalten gruppiert visualisiert, um die Nutzerschaft besser verstehen zu können - eine Ansicht einer einzelnen Nutzersitzung wie beim Session-Replay ist jedoch nicht Teil dessen.

2. Log-Plattformen

- Als Log-Plattformen werden alle Technologien bezeichnet, die eine Verarbeitung von Logdaten als ihre Kernfunktionalität verstehen. Weiterhin sind hier nahezu alle Werkzeuge dazu in der Lage, den Entwicklern und Betreibern eine detaillierte Analyse der Logdaten zu ermöglichen. Weiterhin können oftmals auf Basis dieser Daten auch visuelle Darstellungen erstellt werden. Mit diesen Visualisierungen können Aspekte eines IM, ASM, RUM oder Error-Monitorings nachgestellt werden. Neben diesen Funktionalitäten steht aber auch ein effizientes Persistenzkonzept im Vordergrund, damit mit den enormen Datenmengen aus unterschiedlichen Systemen umgegangen werden kann [HZH⁺17].

3. Tracing-Plattform

- Distributed-Tracing-Systeme beschreiben gehören jene Technologien, die ein Distributed-Tracing ermöglichen. Hierbei steht oftmals eine effiziente Architektur im Vordergrund, welche explizit auf die enormen Datenmengen angepasst sind, die beim Distributed-Tracing anfallen können [SBB⁺10].

4. Error-Tracking

- Die Kategorie Error-Tracking zeichnet sich dadurch aus, dass die Technologien hier die Erhebung und Visualisierung von Fehlerdaten als Kernfunktionalität besitzen. Weiterhin besitzen viele dieser Werkzeuge ein detailliertes Issue-Management, mit dem sich Teams organisieren können, um Fehler zu beheben und Arbeiten nachzuhalten.

5. Session-Replay-Dienste

- Die Technologien der Kategorie Session-Replay zeichnen Nutzersitzungen auf und stellen diese Betreibern und Entwicklern in nachgestellter Videoform bereit. Hierbei lässt sich eine geschäftliche und eine technische Repräsentation unterscheiden. Bei Ersterem werden Nutzersitzungen teils gruppiert und als

Heatmaps dargestellt, bei letzterem werden detaillierte technische Informationen mitgeschnitten und dargestellt [FČ18].

6. Web-Analytics

- Die letzte Kategorie beschäftigt sich mit Web-Analytics Technologien. Diese beschäftigen sich mit der Evaluierung der Performance einer Webanwendung, sei es im geschäftlichen oder auch im technischen Sinne [PSF04] [Kau07]. Allgemeiner lässt sich anhand der Charakteristika sagen, dass Web-Analytics eine sehr spezifische Untermenge von APM-Plattformen darstellt.

Folgend werden in der Tabelle 3.2 die Technologien gruppiert nach ihrer Kategorie dargestellt. Da nicht alle Kategorien gleich hilfreich für die hier angestrebte Lösung sind, findet im Unterabschnitt 3.2.4 eine Vorauswahl statt, welche Funktionskategorien näher betrachtet werden sollen.

Technologie	IM	ASM	RUM	Error-Monitoring	Log-Mgmt.	Tracing	Session-Replay
APM-Plattformen							
AppDynamics	ja	ja	ja(*)	ja	eingeschr.	ja	
Dynatrace	ja	ja	ja(*)	ja	ja	ja	
New Relic	ja	ja	ja(*)	ja	ja	ja	
Broadcom DX APM	ja	ja		teils	ja	ja	
Splunk APM (SignalFX)	ja	ja		ja		ja	
DataDog	ja	ja	ja(*)	ja	ja	ja	
Azure Monitor	ja	ja		ja	ja	ja	
Prometheus	ja	ja					
Log-Plattformen							
Papertrail	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja		
Elastic Stack	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja		
Fluentd					eingeschr.		
Splunk Enterprise	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja		
Graylog	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja		
Distributed-Tracing-Systeme							
Jaeger						ja	
Zipkin						ja	
Error-Tracking							
Sentry			ja(*)	ja			
TrackJS			ja(*)	ja			
Rollbar			ja(*)	ja			
Airbrake	ja	ja		ja			
Bugsnag				ja			

Technologie	IM	ASM	RUM	Error-Monitoring	Log-Mgmt.	Tracing	Session-Replay
Raygun	ja	ja	ja(*)	ja			
Session-Replay-Dienste							
Inspectlet			ja	teils			ja
FullStory			ja	teils			ja
LogRocket			ja	ja			ja
Web-Analytics							
Google Analytics	eing.	eing.	ja(*)	eingeschr.			
Adobe Analytics	eing.	eing.	ja(*)	eingeschr.			

Tab. 3.2: Kategorisierung der untersuchten Technologien

3.2.4 Vorauswahl

Wie zuvor beschrieben eignen sich die unterschiedlichen Funktionskategorien teils mehr teils weniger für die, in dieser Arbeit angestrebte Lösung: Ein Proof-of-Concept, welches die Nachvollziehbarkeit einer Webanwendung von Anwendungsverhalten und Nutzerinteraktionen für **Betreiber und Entwickler** verbessert.

APM-Plattformen bieten durch ihr IM und ASM aufschlussreiche Einsichten in die Leistung und Verfügbarkeit einer Anwendung, helfen aber nicht oder kaum bei der Aufdeckung von einzelnen Problemen. Sie bieten hilfreiche Informationen aus wirtschaftlicher und operativer Sichtweise, weniger aber bieten sie technische Informationen. Ein weiterer Grund gegen die Nutzung von Werkzeugen des Performance-Monitorings ist die hier existierende Marktmacht von proprietären Lösungen, die teilweise sehr unflexibel in den Anpassungsmöglichkeiten sind, können dafür aber vorgefertigte Dashboards liefern, die Arbeit abnehmen können. Um diese Diskrepanz näher zu untersuchen wurden New Relic und Dynatrace beispielhaft näher evaluiert, indem jeweils die Testversion mit einer minimalen Beispielanwendung getestet wurde. Hierbei konnte festgestellt werden, dass die bereitgestellten Informationen, aus Sicht eines Entwicklers, nicht ausreichend Aufschluss bereiten. Es fehlten die detaillierte Einsicht in einzelne Fehlerszenarien oder auch Nutzersitzungen, viel eher wurden gruppierte Informationen bereitgestellt, die die grobe „Gesundheit“ des Systems widerspiegeln. Aus diesen Gründen, gerade aufgrund der divergierenden Zielgruppen, werden APM-Plattformen nicht näher betrachtet.

Hinzukommend und aus einem ähnlichen Grund, wird die Kategorie Web-Analytics nicht näher behandelt. Werkzeuge im Web-Analytics-Bereich legen den Fokus sehr stark auf einer Überprüfung von wirtschaftlichen und operativen Eigenschaften, nicht jedoch den in dieser Arbeit erwünschten Zielen. Die übrig gebliebenen Kategorien werden im nächsten Unterabschnitt näher betrachtet und kriteriengeleitet bewertet.

3.2.5 Kriterien

Um in dem Proof-of-Concept auf die hier vorgestellten Technologien zurückgreifen zu können, werden diese auf Basis verschiedener Kriterien bewertet. Diese Bewertung stützt sich auf öffentlich verfügbare Informationen, die die Hersteller der jeweiligen Technologie selber veröffentlicht haben. Die Kriterien werden folgend näher beschrieben.

1. Kostenfrei

- Mit dem Kriterium „Kostenfrei“ soll bewertet werden, ob eine kostenfreie Variante dieser Technologie existiert. Existiert eine kostenfreie Variante, wird **ja** angegeben und ansonsten **nein**. Existiert jedoch eine kostenfreie Version, die entweder von den Funktionalitäten oder der zeitlichen Nutzung beschränkt ist, wird diese mit **f. beschränkt** bzw. **z. beschränkt** angegeben.

2. Support für Webanwendungen

- Es ist zu bewerten, ob eine Unterstützung für das Senden von Daten von Webanwendungen existiert. Dies kann in der Form eines Agenten⁶ oder einer Schnittstelle sein. Ist die Schnittstelle nicht direkt aus einem Browserkontext ansprechbar, aber es ist eine Schnittstelle vorhanden, so ist diese Technologie mit **möglich** zu bewerten. Ist jedoch keine Schnittstelle, die das Senden von eigenen Daten ermöglicht, so ist die Technologie mit **nein** zu bewerten.

3. On Premise und SaaS

- Mit diesen zwei Kriterien soll bewertet werden, wie diese Technologie eingesetzt werden kann. Ist sie in einer eigenen Infrastruktur aufsetzbar, also „On Premise“, oder existiert die Technologie als buchbarer Dienst z. B. in der Cloud, also Software-as-a-Service (SaaS).

4. Standardisierung

- Setzt die jeweilige Technologie auf etablierte Standards, wie OpenTracing bei Distributed Tracing? Falls nicht, sind einzelne Komponenten (z. B. zur Instrumentalisierung) quelloffen oder öffentlich spezifiziert, sodass diese ausgetauscht oder angepasst werden können.

5. Multifunktional

- Mit dem Kriterium „Multifunktional“ ist zu bewerten, ob neben der Kernfunktionalität einer Technologie diese auch eine Menge an weiteren Funktionalitäten vorweisen kann. Eine Technologie kann dies vorweisen, wenn sie min.

⁶Ein Agent ist eine Bibliothek, die die jeweiligen Daten (wie Klicks, Ladezeiten für Ressourcen und DOM-Events, usw.) eigenständig sammelt und an ein Partnersystem überträgt [RSJ⁺12]

zwei nicht nah verwandte Funktionalitäten nahezu vollständig besitzt (`ja` oder `ja(*)`). Nah verwandt sind hierbei IM und ASM.

6. Zielgruppe

- Es ist einzuordnen welche Zielgruppen hauptsächlich von dieser Technologie profitieren, folgende wesentliche Zielgruppen werden differenziert:
 - Projektmanager
 - Fachabteilung
 - Entwickler

Auf Basis dieser Kriterien werden die Technologien jeweils nach Kategorie bewertet sowie wird schließlich, je nach Funktionskategorie, die präferierte Technologie ausgewählt.

3.2.6 Bewertung

In der Kategorie „Log-Plattformen“ findet sich auf Basis der Bewertung wenig Varianz zwischen den Technologien, lediglich Fluentd sticht hervor, aber dies ist dadurch erklärbar, dass Fluentd kein vollständiges Log-Management darstellt, sondern es sich um einen Logaggregator handelt [Flu21b]. Somit ist Fluentd nur als verwandte Technologie anzusehen und fällt somit als Präferenz aus. Der Elastic Stack eignet sich durch die hohe Flexibilität und der Komponente Logstash auch dazu, Log-Management mit ihr zu betreiben [Vet20] [RAF19]. Papertrail, Splunk sowie Graylog lassen sich als klassische Log-Management-Werkzeuge verstehen, indem dass sie speziell auf diese Funktionskategorie angepasst sind. Graylog sowie der Elastic Stack sind quelloffen, aber auch als SaaS verfügbar. Bei einem gewünschten OnPremise-Deployment kann lediglich nur Papertrail nicht eingesetzt werden, denn dies wird nicht unterstützt. Letztendlich lässt sich sagen, dass keine dieser 4 Technologien ausschließende Eigenschaften besitzt, sie sind allesamt geeignet für die in dieser Arbeit angestrebte Lösung. Es wurde sich für **Splunk** entschieden, da es bereits bei OpenKnowledge im Einsatz ist. Wie aber zuvor erwähnt eignen sich die anderen Technologien ähnlich gut und eine erneute Auswahl mit anderen situationsbedingten Kriterien könnte variieren.

Technologie	Kostenfrei	Support f. Webanw.	On Premise	SaaS	Standard.	Multif.	Zielgruppe
Papertrail	f. begrenzt	eingeschr.	nein	ja	nein	ja	Fachabteilung, Entwickler
Elastic Stack	ja	eingeschr.	ja	ja	eingeschr.	ja	Fachabteilung, Entwickler
Fluentd	ja	eingeschr.	ja	ja	eingeschr.	nein	Entwickler
Splunk Enterprise	f. begrenzt	eingeschr.	ja	ja	nein	ja	Fachabteilung, Entwickler
Graylog	ja	eingeschr.	ja	ja	eingeschr.	ja	Entwickler

Tab. 3.3: Bewertung der Technologien der Kategorie „Log-Plattformen“

Die Auswahl in der Kategorie „Error-Tracking“ ist etwas diverser, denn hier weisen manche Technologien Funktionalitäten auf, die sonst in dem Gebiet fremd sind. Beispielsweise bieten Airbrake und Raygun neben einem Error-Monitoring zudem Aspekte eines APM, sodass die Anwendung/das System auch im Normalbetrieb überprüft werden kann. Jedoch sind diese APM-Funktionalitäten nicht so ausgereift, wie bei spezialisierten APM-Lösungen. Airbrake und Raygun sind lediglich als SaaS-Produkte verfügbar, währenddessen Sentry, Rollbar und Bugsnag auch als OnPremise-Lösung verfügbar sind. Sentry ist zudem vollständig quelloffen verfügbar⁷ und entwickelt aktiv mit der Community auf GitHub [Git21]. Weiterhin ist Sentry das einzige identifizierte Werkzeug, welches eine nicht zeitlich begrenzte Version der SaaS-Lösung zur Verfügung stellt. Eine stark aussagekräftige Entscheidung kann jedoch nicht getroffen werden, da alle Werkzeuge hier adäquat die Bedingungen eines guten Error-Monitoring-Werkzeugs erfüllen. Dennoch wird sich an dieser Stelle für **Sentry** entschieden, auf Basis der zuvor nahe gelegten Gründe.

⁷Sentry GitHub Repo: <https://github.com/getsentry/sentry>

Technologie	Kostenfrei	Support f. Webanw.	On Premise	SaaS	Standard.	Multif.	Zielgruppe
Sentry	f. begrenzt	ja	ja	ja	eingeschr.	nein	Fachabteilung, Entwickler
TrackJS	z. und f. begrenzt	ja	nein	ja	nein	nein	Fachabteilung, Entwickler
Rollbar	z. und f. begrenzt	ja	ja	ja	nein	nein	Fachabteilung, Entwickler
Airbrake	z. und f. begrenzt	ja	nein	ja	nein	ja	Fachabteilung, Entwickler
Bugsnag	z. und f. begrenzt	ja	ja	ja	eingeschr.	nein	Fachabteilung, Entwickler
Raygun	z. und f. begrenzt	ja	nein	ja	nein	ja	Fachabteilung, Entwickler

Tab. 3.4: Bewertung der Technologien der Kategorie „Error-Tracking“

Im Gebiet der Distributed-Tracing-Systeme gibt es auch nur wenige oberflächliche Unterschiede, sowohl Jaeger als auch Zipkin sind quelloffen, sowie sind sie weit verbreitet im Einsatz [Hög20]. Jaeger scheint für neue Projekten attraktiver zu sein und findet dort mehr Einsatz, wie in StackShares Gegenüberstellung zu sehen ist [Sta21a]. Teilweise ist dies erklärbar durch die Ergebnisse, die Martínez *et al.* [HMQLJ21] herausfanden: Jaeger zeigt mehr hilfreiche Informationen an und kann diese schneller bereitstellen als Zipkin. Zudem entwickelt Jaeger aktiv eine Unterstützung des neuen OpenTelemetry-Standards [Jae21c], jedoch findet sich bei Zipkin keine vergleichbare Entwicklung. Aus diesen Gründen ist **Jaeger** hierbei das Werkzeug der Wahl.

Technologie	Kostenfrei	Support f. Webanw.	On Premise	SaaS	Standard.	Multif.	Zielgruppe
Jaeger	ja	eingeschr.	ja	nein	ja	nein	Entwickler
Zipkin	ja	eingeschr.	ja	nein	eingeschr.	nein	Entwickler

Tab. 3.5: Bewertung der Technologien der Kategorie „Distributed-Tracing-Systeme“

In der Beschreibung zur Kategorie „Session-Replay“ wurde erwähnt, dass einige dieser Werkzeuge eine eher geschäfts- und andere eher eine entwicklerorientierte Session-Replay-Funktionalität vorweisen. Genauer ist FullStory fast ausschließlich für das Nachvollziehen von User-Experience konzipiert, währenddessen LogRocket sehr detaillierte und sehr technische Informationen liefert [FC18]. Inspectlet lässt sich als Mischung dieser beiden

Sichten verstehen, bietet aber z. B. nicht alle Informationen an, die LogRocket darstellt [FČ18]. Da die hier angestrebte Lösung auf Betreiber und insbesondere Entwickler abzielt, wird sich hiermit für **LogRocket** entschieden.

Technologie	Kostenfrei	Support f. Webanw.	On Premise	SaaS	Standard.	Multif.	Zielgruppe
Inspectlet	f. begrenzt	ja	nein	ja	nein	ja	Projektmanager, Fachabteilung, Entwickler
FullStory	f. begrenzt	ja	nein	ja	nein	ja	Projektmanager, Fachabteilung, Entwickler
LogRocket	f. begrenzt	ja	ja	ja	nein	ja	Fachabteilung, Entwickler

Tab. 3.6: Bewertung der Technologien der Kategorie „Session-Replay-Dienste“

3.2.7 Vorstellung der Technologien

3.2.7.1 Splunk

Splunk bietet neben seiner akquirierten APM-Lösung (ehem. SignalFX) eine Log-Plattform an, welches Splunks Kernprodukt darstellt und einer der führenden Plattformen auf dem Markt ist [Vet20]. Splunk bietet diese Lösung als OnPremise oder auch als SaaS an, und ist so anpassungsfähig im Deployment.

Um Splunk zu testen wurde die SaaS- sowie die OnPremise-Lösung aufgesetzt, jeweils in der kostenlosen Version. Splunk bietet keine JavaScript-Bibliotheken, die das Senden von Daten an den Dienst vereinfachen - jedoch wird eine ansprechbare HTTP-Schnittstelle angeboten und in der Dokumentation beschrieben, der sog. HEC (HTTP Event Collector) [Spl21a]. Der HEC ist jedoch standardmäßig nicht von einem Browserkontext aus verwendbar, da sie mit ablehnenden CORS-Headern antwortet. Grund hierfür ist, dass der HEC nicht für dieses Szenario konzipiert wurde. Um dies zu umgehen, wurde ein Proxydienst eingerichtet, der die Daten des Frontends entgegennimmt, diese anreichert und dann nach Splunk weiterleitet.

Folgend konnten in Splunk jedwede Loginformationen eingesehen werden, sowie Fehlerdaten, welche auch nach Splunk gemeldet wurden. Innerhalb von Splunk können mit der eigenen Search Processing Language (SPL) [Spl21d] Abfragen durchgeführt werden (vgl. Abbildung 3.8). Mit dieser Sprache lassen sich, ähnlich wie bei SQL, einzelne Werte

oder Listen abrufen aber auch neue komplexe Strukturen durch Unterabfragen generieren [Spl21c].

New Search Save As Close

sourcetype=access_* status=200 action=purchase | top categoryId All time Q

✓ 5,224 events (before 4/17/19 3:29:36.000 PM) No Event Sampling Job || ■ → ⌵ ⌴ Smart Mode

Events Patterns **Statistics (7)** Visualization

20 Per Page Format Preview

categoryId	count	percent
STRATEGY	806	38.495649
ARCADE	493	18.653846
TEE	367	13.885736
ACCESSORIES	348	13.166856
SIMULATION	246	9.387605
SHOOTER	245	9.269769
SPORTS	138	5.221339

Abb. 3.8: Abfragebeispiel in Splunk [Spl21d]

3.2.7.2 Jaeger

Jaeger wurde 2017 als ein OpenSource-Projekt der CNCF gestartet [Jae21b]. Es ist ein System für verteiltes Tracing und bietet Funktionalitäten zur Datensammlung, –verarbeitung, –speicherung bis hin zur Visualisierung. Jaeger unterstützt und implementiert den Standard OpenTracing, unterstützt aber auch Datenformate anderer Hersteller (wie z. B. Zipkin [Zip21]). Eine Unterstützung des OpenTelemetry-Standards ist derzeit im Gange. Weiterhin kann Jaeger dazu benutzt werden, Metriken nach Prometheus [Pro21] zu exportieren, einem weiteren CNCF-Projekt zur Speicherung und Visualisierung von Daten.

Jaeger spezialisiert sich auf Tracing und bietet hierfür eine skalierbare Infrastruktur zur Speicherung und Analyse der Daten. Die Traces werden als angereicherte Trace-Gantt-Diagramme dargestellt, wie in Abbildung 3.10 zu sehen ist. Hierbei sind sowohl hierarchische als auch zeitliche Beziehungen visualisiert. Wie bei OpenTracing und OpenTelemetry besteht ein Trace aus mehreren Spans, welche meist eine Methode umschließen. Zu den einzelnen

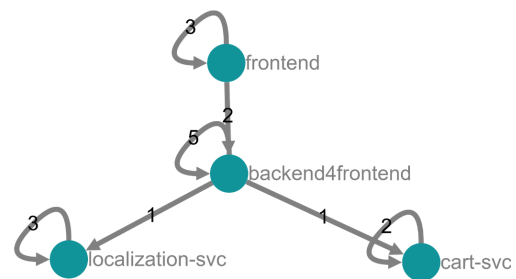


Abb. 3.9: Dienst-Abhängigkeits-Graph.
Quelle: Eigene Darstellung

Spans lassen sich weitere Informationen anzeigen, wenn vorhanden, wie bspw. Logmeldungen oder Kontextinformationen.

Anhand der Traces generiert Jaeger zudem automatisch eine Architektur, indem die Beziehungen zwischen Diensten zu sehen ist. In Abbildung 3.9 kann so eine Darstellung betrachtet werden.

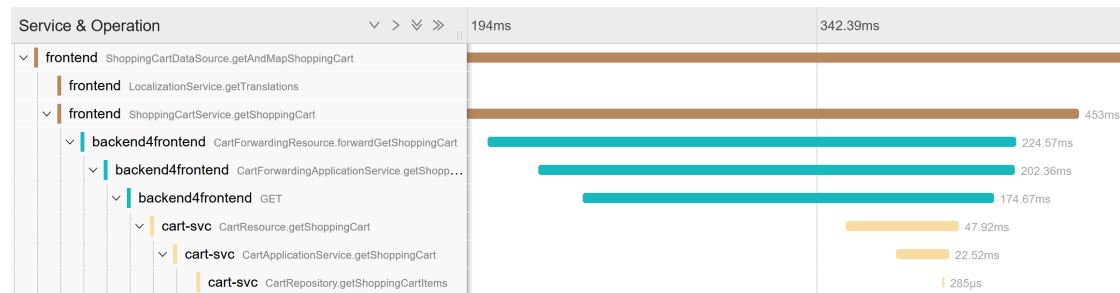


Abb. 3.10: Trace-Detailansicht. Quelle: Eigene Darstellung

3.2.7.3 Sentry

Sentry [Fun21] ist ein SaaS-Produkt der Functional Software Inc., welches sich auf das Error Monitoring spezialisiert. Die Kernfunktionalitäten beschränken sich auf das Error Monitoring, auch wenn von anderen Praktiken einige Aspekte präsent sind, stellen diese keine eigens abgeschlossene Funktionalität dar.

Neben einer kommerziellen Version, stellt Sentry auch eine unbegrenzt kostenlos nutzbare Version bereit, welche im Rahmen dieser Arbeit evaluiert wurde. Der Quellcode für das Backend von Sentry wurde zudem veröffentlicht und bietet Sentry darüber hinaus auch eine OnPremise-Lösung, die auf Docker basiert [Fun20b]. Um von Webanwendungen Fehler zu erfassen und an Sentry zu melden, bietet Sentry bei NPM [npm21] quelloffene Pakete an [Fun20a]. Dabei werden u. A. Anbindungen für folgende Technologien bzw. Frameworks bereitgestellt: JavaScript, Angular, React und Vue.js.

Wird ein Fehler gemeldet, erstellt Sentry hierzu ein „Issue“, also einen Problembericht. In diesem Problembericht sind detaillierte Informationen zum Fehler zu finden, wie den Stacktrace, den Zeitstempel, die Nutzerumgebung (Browser, Version, etc.) und auch einen Ausschnitt der zuletzt aufgetretenen Logmeldungen in der Browserkonsole (vgl. Abbildung 3.11). Zudem schneidet Sentry jegliche Nutzerinteraktionen mit und stellt diese in dem Problembericht mit dar (vgl. Abbildung 3.12). Treten Fehler gleichen Ursprungs auf, fasst Sentry diese im selben Problembericht zusammen, jedoch kann jede einzelne Fehlerinstanz näher betrachtet werden.

Die angebotenen Fehlerinformationen von Sentry sind zahlreich und helfen beim Nachvollziehen besser als die vorher beleuchteten Werkzeuge, jedoch mangelt es an einer ganzheitlichen Nachvollziehbarkeit, d. h. wenn kein Fehlerfall eingetreten ist, bietet Sentry hierfür auch keine Informationen.

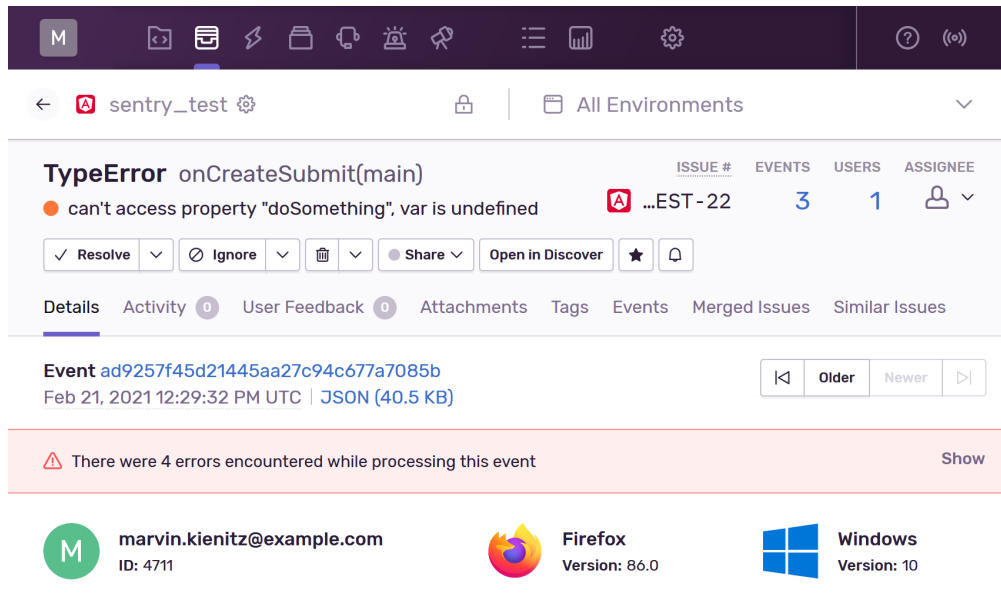


Abb. 3.11: Kerninformation eines Sentry-Issues

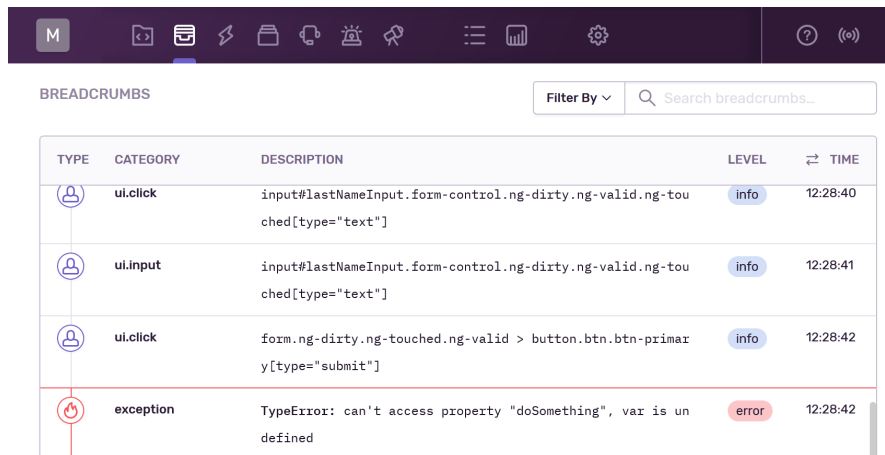


Abb. 3.12: Userinteraktionen bei einer bestimmten Fehlerinstanz

3.2.7.4 LogRocket

LogRocket [Log21] ist ein SaaS-Produkt des gleichnamigen Unternehmens und konzentriert sich auf detailliertes Session-Replay von JavaScript-basierten Clientanwendungen, um Probleme identifizieren, nachvollziehen und lösen zu können. Anders als vergleichbare Session-Replay-Technologien sind Entwickler die primäre Zielgruppe, nicht das Marketingteam o. Ä. [FČ18].

LogRocket bietet eine kostenlose Testversion des SaaS-Produktes an, welche für die Evaluierung verwendet wurde. Zur Datenerhebung wird das Paket `logrocket` bei NPM angeboten, welches nach der Initialisierung eigenständig die notwendigen Daten sammelt. Mithilfe dieser Daten wird die gesamte Sitzung des Nutzers nachgestellt. Hierbei ist die Anwendung, die Nutzerinteraktionen, die Netzwerkaufrufe sowie das DOM zu sehen. Die Reproduktion wird videoähnlich aufbereitet und erlaubt ein präzises Nachvollziehen der zeitlichen Reihenfolge und Bedeutung (vgl. Abbildung 3.13).

Neben dem JavaScript-SDK bietet LogRocket quelloffene Plugins für folgende Bibliotheken: Redux, React, MobX, Vuex, ngrx, React Native. LogRocket ist zudem als OnPremise-Lösung verfügbar. Zusätzlich bietet LogRocket auch eine Integration für andere Tools, wie z. B. Sentry. Bei der Sentry-Integration wird bei einem gemeldeten Fehler direkt auf das „Video“ in LogRocket verlinkt, sodass der Fehler genau betrachtet werden kann.

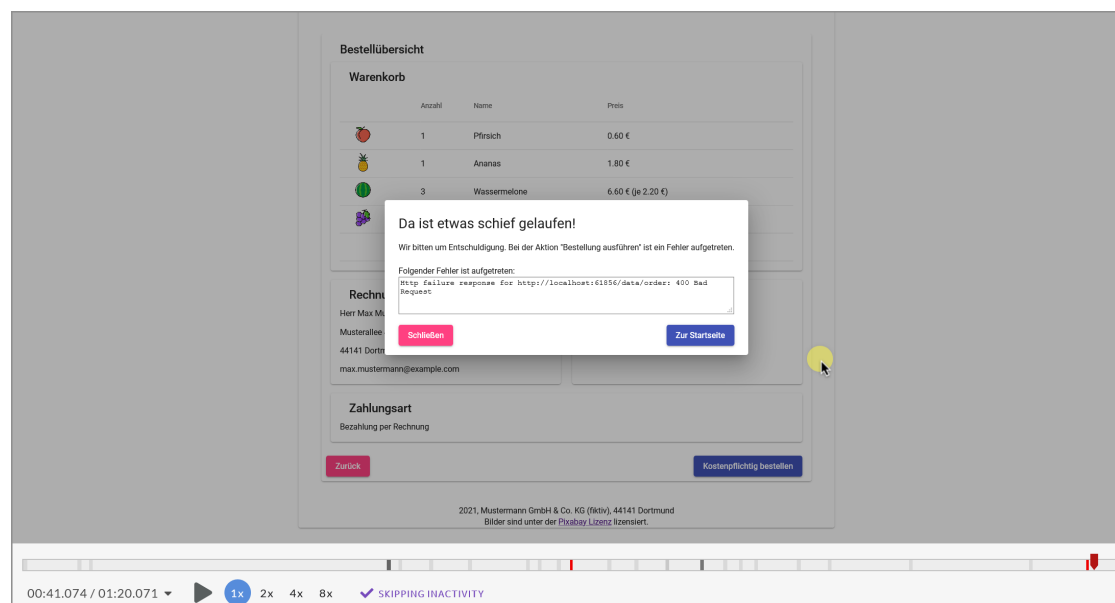


Abb. 3.13: Ausschnitt eines Session Replays bei LogRocket

Auf dieser Basis ist im folgenden Kapitel der eigentliche Proof-of-Concept zu entwerfen und zu implementieren. Da manche Technologien bzw. Kategorien Überschneidungen in den Funktionalitäten vorweisen (bbspw. Splunk und Sentry), kommt es ggf. dazu, dass nicht alle hier identifizierten Technologien im Proof-of-Concept zum Einsatz kommen. Vor dem Proof-of-Concept wird jedoch zunächst die Demoanwendung, auf der das Konzept angewendet werden soll, vorgestellt.

4 Erstellung Proof-of-Concept

4.1 Vorstellung der Demoanwendung

Wie zuvor erwähnt wird zunächst eine Demoanwendung erstellt, an der das zu erstellende Konzept anzuwenden ist. Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Vorstellung der Demoanwendung, wie diese aufgebaut ist und was für eine Art von Webanwendung sie repräsentiert.

In der Motivation ist ein konkretes Problem eines Kunden der Open Knowledge genannt. Damit die Demoanwendung realistisch eine moderne Webanwendung [DD18] darstellt, wird sie in Grundzügen den Aufbau der Webanwendung des Direktversicherers nachahmen. Bei der Webanwendung handelt es sich um einen Wizard [RIS18], 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.

4.1.1 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
    Rechnungsadresse" gesetzt sein
13 And das gleiche Formular wie von der Rechnungsadresse-Seite
14 erscheinen, mit den zuvor eingegebenen Daten
15 And das Formular soll deaktiviert sein, solange das Häkchen
16 gesetzt ist
17
18 Scenario: Kundin kommt auf die Lieferdaten-Seite von der Zahlungsdaten
19 -Seite aus
20 Given die Kundin hatte bereits zuvor die Lieferdaten ausgefüllt
```

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

4.1.2 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 Architek-

tur 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.

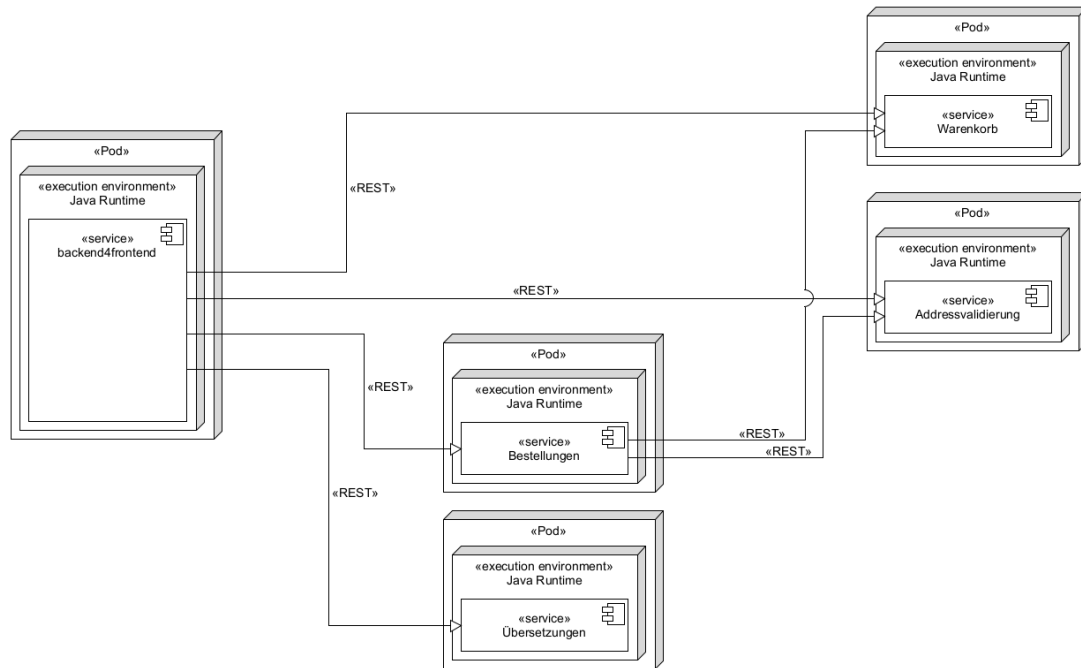


Abb. 4.1: Demoanwendung: Deployment-Diagramm, Quelle: Eigene Darstellung

Die einzelnen Dienste wurden mit Eclipse MicroProfile [Ecl21] umgesetzt. MicroProfile ist eine Sammlung 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-Images¹ verpackt, um eine einheitliche Umgebung auch auf unterschiedlichen Rechnern zu gewährleisten. Diese Images wurden dann mit Kubernetes² aufgesetzt und miteinander verbunden.

¹Docker [Doc20] ist eine Software zum Erstellen und Ausführen von Anwendungscontainern [SCF15]

²Kubernetes [Lin20] ist eine Software zum Orchestrieren Container-basierter Anwendungen [Kha17]

4.1.3 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.

4.1.3.1 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.

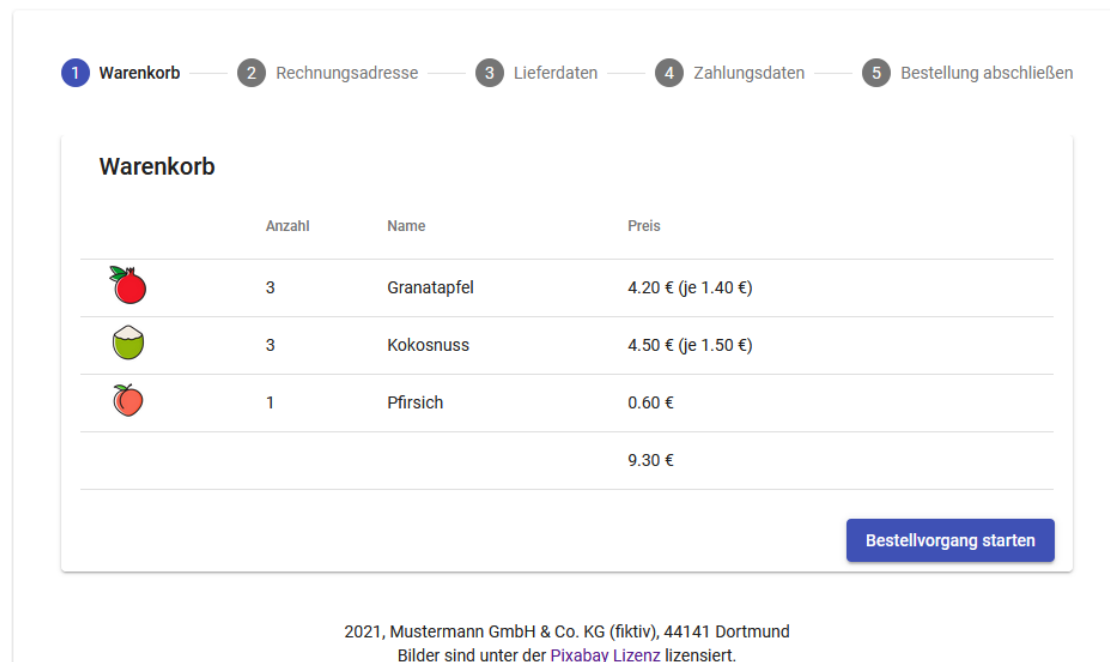


Abb. 4.2: Demoanwendung: Startseite „Warenkorb“

4.1.3.2 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.

The screenshot shows a web form titled 'Rechnungsadresse' (Billing Address) within a checkout process. At the top, a progress bar indicates five steps: 1. Warenkorb (Shopping Cart), 2. Rechnungsadresse (Billing Address), 3. Lieferdaten (Delivery Data), 4. Zahlungsdaten (Payment Data), and 5. Bestellung abschließen (Complete Order). Step 2 is currently active.

The form fields are as follows:

- Anrede** (Title): Herr
- Vorname** (First Name): Max
- Nachname** (Last Name): Mustermann
- Straße** (Street): Musterallee
- Nr.** (House Number): 42
- Postleitzahl** (Postal Code): 44141
- Stadt** (City): Dortmund
- E-Mail**: max.mustermann@example.com

At the bottom of the form, there are two buttons: a pink 'Zurück' (Back) button and a blue 'Weiter' (Next) button. Below the form, a footer line reads: '2021, Mustermann GmbH & Co. KG (fiktiv), 44141 Dortmund' and 'Bilder sind unter der [Pixabay Lizenz](#) lizenziert.'

Abb. 4.3: Demoanwendung: Seite „Rechnungsadresse“

4.1.3.3 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 Unterunterabschnitt 4.1.4.4 aufgefasst 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“

4.1.3.4 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“

4.1.3.5 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.

	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“

4.1.3.6 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.

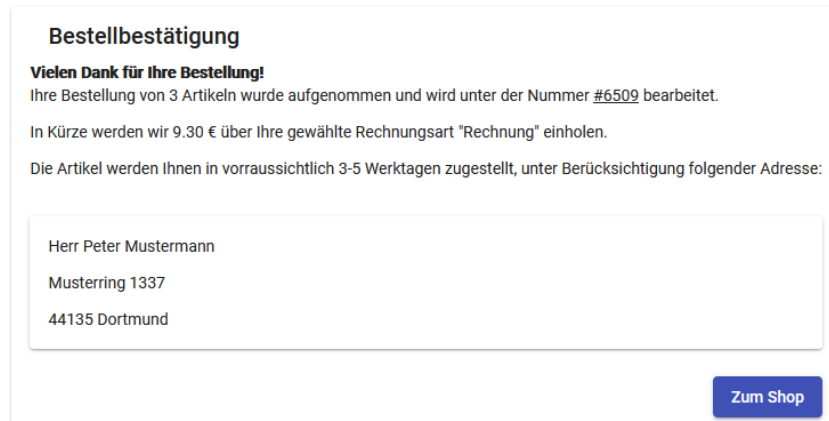


Abb. 4.7: Demoanwendung: Finale Seite „Bestellbestätigung“

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

4.1.4 Fehlerszenarien

Um später mithilfe der Observability-Werkzeuge Probleme aufzudecken, besitzt die Demoanwendung einige simulierte problembehaftete Implementierungen. 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 folgend in Fehlerszenarien beschrieben, aus der Sicht eines Projektteams, welches diese Szenarien berichtet bekommen oder selbst notiert hat.

4.1.4.1 „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.

4.1.4.2 „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.

4.1.4.3 „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.

4.1.4.4 „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

4.1.4.5 „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.

4.1.4.6 „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.

4.1.4.7 „Lange Verarbeitung“

- Problem: Beim Abrufen der Warenkorbdaten kommt es zu einer unerwünschten Wartezeit (von ca. 6-10s).
- Ursache: Dies ist eine simulierte Wartezeit im Frontend, hierbei wird eine ineffiziente Mapping-Operation nachgeahmt.

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.

4.2 Anforderungen

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

4.2.1 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
Basis.	Basismerkmale	Merkmale, die als selbstverständlich angesehen werden. Eine Erfüllung erhöht kaum die Zufriedenheit, jedoch eine Nichterfüllung führt zu starker Unzufriedenheit
Leistungs.	Leistungsmerkmal	Merkmale, die der Kunde erwartet und bei nicht Vorhandensein in Unzufriedenheit äußert. Ein Vorhandensein erzeugt Zufriedenheit, beim Übertreffen umso mehr.
Begeist.	Begeisterungsmerkmal	Merkmale, die eine Herabsetzung von der Konkurrenz ermöglichen und die den Nutzenfaktor steigern. Sind sie vorhanden, steigern sie die Zufriedenheit merklich.
Unerh.	Unerhebliches Merkmal	Für den Kunden belanglos, ob vorhanden oder nicht.
Rückw.	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.
n. f.	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

4.2.2 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

4.2.3 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	Begeist.	n. f.	S
Hier wird die Anforderung beschrieben.				

Tab. 4.4: Beispiel einer Anforderung

4.2.3.1 Funktionsumfang

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2110	Schnittstellen-Logging	Basis.	f.	S
Im Frontend ist das Aufrufen von Schnittstellen ist mittels einer Logmeldung zu notieren. Hierbei soll vor Aufruf geloggt werden, welche Schnittstelle aufgerufen wird und mit welchen Parametern. Nach dem Aufruf soll bei Erfolg das Ergebnisobjekt geloggt werden, und bei einem Fehler soll dieser notiert werden.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2111	Use-Case-Logging	Basis.	f.	S
Tritt im Frontend ein Use-Case auf, soll dieser im Log notiert werden. Beispielsweise soll notiert werden, wenn ein Nutzer das Absenden eines Formular initiiert.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2120	Übertragung von Logs	Basis.	f.	S
Logmeldungen des Frontends sind an ein „Log-Management“-Partnersystem weiterzuleiten. Dabei sind Logmeldungen ab dem Log-Level „DEBUG“ und höher zu übertragen.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2210	Error-Monitoring	Basis.	f.	S
Wird ein nicht abgefangener Fehler im JavaScript-Kontext geworfen, so ist dieser automatisch zu erfassen und um weitere Attribute zu ergänzen. Abgefangene und behandelte Fehler können ebenso erfasst werden, jedoch ist hierbei keine automatische Erfassung gefordert.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2220	Übertragung von Fehlern	Basis.	f.	S
Sämtlich erfasste Fehler des Frontends sind an ein „Error-Monitoring“-Partnersystem weiterzuleiten.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2310	Tracing	Basis.	f.	S
Im Frontend sowie im Backend sind Tracing Spans zu erstellen, die Business-Methoden sowie Schnittstellenaufrufe umschließen. Bei einem Schnittstellaufruf sind die Informationen des Spankontextes über einen Traceheader zu übergeben, sodass die subsequent erstellten Spans hiermit assoziiert werden können.				

4 Erstellung Proof-of-Concept

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2311	Tracing-Standard	Leistungs.	n. f.	A
Das Tracing soll einem gängigen Standard (wie OpenTelemetry oder OpenTracing) folgen.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2320	Übertragung von Tracingdaten	Basis.	f.	S
Sämtlich erfasste Tracingdaten von Front- und Backend sind an ein „Tracing“-Partnersystem weiterzuleiten.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2410	Metriken	Basis.	f.	S
Im Frontend sind beispielhaft Metriken zu erheben, wie z. B. die Zeit bis der Nutzer interagieren kann (Time to Interactive (TTI)) oder die Anzahl an Aufrufen je Schnittstelle				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2411	Metrik-Standard	Begeist.	n. f.	A
Metriken sollen nach einem gängigen Standard (wie OpenTelemetry) erfasst werden.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2420	Übertragung von Metrikdaten	Basis.	f.	S
Sämtlich erfasste Metriken des Frontends sind an ein „Metrik“-Partnersystem weiterzuleiten.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2510	Session-Replay	Basis.	f.	S
Im Frontend sind Daten zwecks Session-Replay zu erheben, welche u. A. Benutzerinteraktionen, Schnittstellaufrufe sowie DOM-Manipulationen enthalten.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2511	Schalter für Session-Replay	Basis.	f.	A
Beim ersten Aufruf des Frontends sind keine Session-Replay-Daten zu erheben. Stattdessen soll der Nutzer über einen Dialog auswählen können, ob er der Aufnahme zustimmt und erst danach sind diese Daten zu erheben.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2520	Übertragung von Session-Replay-Daten	Basis.	f.	S
Sämtlich im Frontend erfasste Daten zum Session-Replay sind an ein „Session-Replay“-Partnersystem weiterzuleiten.				

4.2.3.2 Eigenschaften

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
3010	Resilienz der Übertragung	Begeist.	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	Begeist.	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	Basis.	n. f.	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	Leistungs.	f.	A+S
Das Logging soll mit einem vordefinierten Format durchgeführt werden. Für ähnliche Funktionsgruppen (wie ein Schnittstellenaufwurf) soll das gleiche Format verwendet werden. Ein anwendungsübergreifendes Format ist nicht gefordert.				

4.2.3.3 Partnersysteme

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5100	Partnersystem <i>Log-Management</i>	Basis.	f.	A+S
Es existiert ein „Log-Management“-Partnersystem, zu dem Logmeldungen weitergeleitet werden und welches diese speichert.				

4 Erstellung Proof-of-Concept

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5110	Manuelle Analyse <i>Log-Management</i>	Basis.	f.	A+S
Nutzer des Systems sollen die erfassten Logmeldungen einsehen sowie diese filtern können. Die Filtierung erfolgt auf Basis der Eigenschaften der Logmeldung (bspw. des Log-Levels).				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5200	Partnersystem <i>Error-Monitoring</i>	Basis.	f.	A+S
Es existiert ein „Error-Monitoring“-Partnersystem, zu dem Fehler weitergeleitet werden und welches diese persistiert.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5210	Manuelle Analyse <i>Error-Monitoring</i>	Basis.	f.	A+S
Nutzer des Systems sollen die erfassten Fehler einsehen sowie diese filtern können. Die Filtierung erfolgt auf Basis der Eigenschaften der Fehler (bspw. der Fehlername).				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5220	Visualisierung <i>Error-Monitoring</i>	Leistungs.	f.	A+S
Die Fehler sollen bspw. in Histogrammen grafisch dargestellt werden können.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5230	Alerting <i>Error-Monitoring</i>	Begeist.	f.	A+S
Bei Auftreten von bestimmten Fehlern oder einer Anzahl von Fehlern soll eine Meldung erzeugt werden können (per E-Mail, Slack, o. Ä.).				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5300	Partnersystem <i>Tracing</i>	Basis.	f.	A+S
Es existiert ein „Tracing“-Partnersystem, welches die Tracingdaten konsumiert und speichert. Zusammengehörige Spans sind zu Traces zusammenzufassen.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5310	Manuelle Analyse <i>Tracing</i>	Basis.	f.	A+S
Die erfassten Tracingdaten sind für die Nutzer des Systems einsehbar, sowie können diese gefiltert werden. Die Filtierung erfolgt auf Basis von Eigenschaften der Tracingdaten (wie Name des meldenden Systems).				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5320	Visualisierung <i>Tracing</i>	Basis.	f.	A+S
Das Partnersystem, zu dem die Tracingdaten weitergeleitet werden, soll diese grafisch als Trace-Gantt-Diagramm darstellen können.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5400	Partnersystem <i>Metriken</i>	Leistungs.	f.	A+S
Es existiert ein „Metrik“-Partnersystem, zu dem Metriken weitergeleitet werden und welches diese persistiert.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5410	Visualisierung <i>Metriken</i>	Leistungs.	f.	A+S
Metriken sind grafisch darstellbar, bspw. in Histogrammen.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5420	Alerting <i>Metriken</i>	Begeist.	f.	A+S
Bei Auftreten von bestimmten Metrikwerten oder Überschreitungen von Schwellen soll eine Meldung erzeugt werden können (per E-Mail, Slack, o. Ä.).				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5500	Partnersystem <i>Session-Replay</i>	Basis.	f.	A+S
Es existiert ein „Session-Replay“-Partnersystem, zu die Daten zum Session-Replay gesendet werden und welches diese analysiert und speichert.				

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
5510	Nachstellung <i>Session-Replay</i>	Basis.	f.	A+S
Dieses System soll anhand der Daten jede aufgezeichnete Benutzersitzung in Videoform nachstellen.				

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 2.4.1 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.

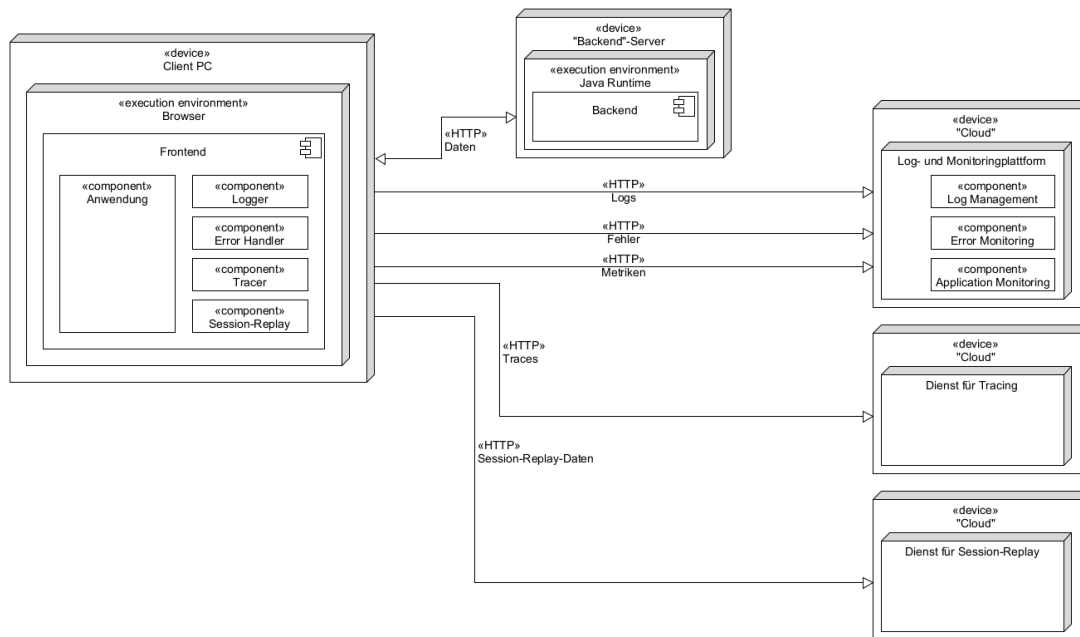


Abb. 4.9: Grobe Architektur

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.

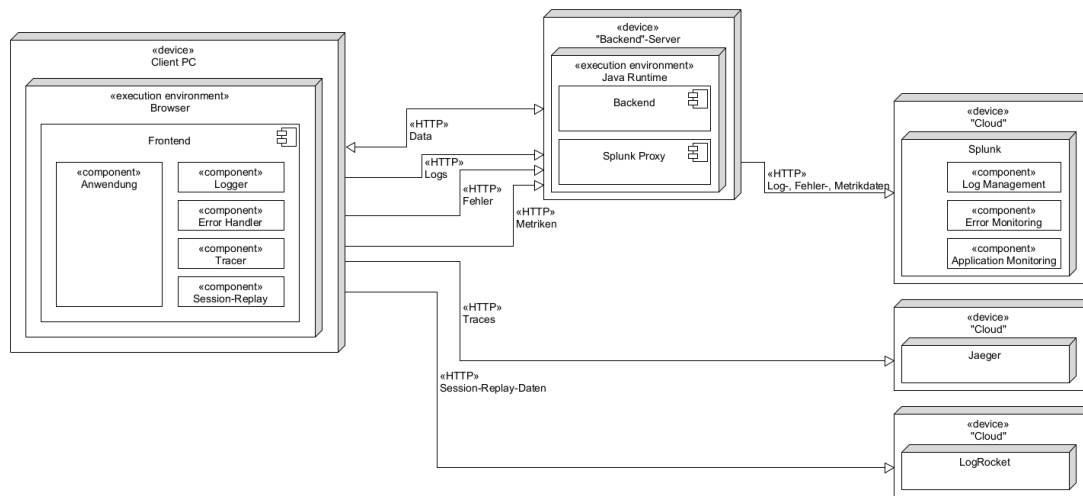


Abb. 4.10: Architektur mit speziellen Technologien

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 4.1.2 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 das

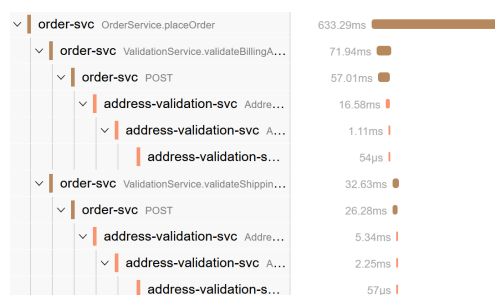


Abb. 4.11: Ausschnitt des Traces zu Quellcode 4.6

Hauptaugenmerk der Arbeit im Frontend liegt. Jedoch wird der Dienst „Backend4Frontend“ dazu verwendet, die Daten aus dem Frontend an die Partnersysteme weiterzuleiten, wie im nächsten Abschnitt erläutert wird.

4.4.2 Frontend

4.4.2.1 Datenweiterleitung im „Backend4Frontend“

Da Logs, Metriken und Fehler mit Splunk gesammelt werden, aber Splunk keine direkt aus dem Browser ansprechbare Schnittstelle bietet, müssen diese über einen Dienst vorher an Splunk weitergeleitet werden (vgl. Unterunterabschnitt 3.2.7.1). Diese Einschränkung von Splunk geht jedoch damit einher, dass Splunk von der „Außenwelt“ abgeschottet wird, sodass Unbefugte nicht Zugriff auf das System erhalten. Im weiterleitenden Dienst könnten zuvor die Daten validiert und gefiltert werden. Somit ist also ein weiterleitender Dienst notwendig, aber auch architektonisch sinnvoll. Weiterhin sind Tracingdaten an Jaeger zu berichten, dies ist aber erneut nicht möglich, da kein browserkompatibler Jaeger-Client identifiziert werden konnte. Dies wird in Unterunterabschnitt 4.4.2.2 näher erläutert.

Da der Dienst „Backend4Frontend“ bereits zum Weiterleiten verwendet wird, wurde dieser erweitert, sodass er Traces, Logs, Metriken sowie Fehler entgegennehmen kann und diese an Jaeger bzw. Splunk sendet. Vor der eigentlichen Weiterleitung werden die Daten mit Kontextinformationen angereichert, wie der User-IP, der Browserversion usw. an. Die Traces werden dann über eine OpenTelemetry-Anbindung an Jaeger gesendet, die anderen Daten werden an die HEC-Schnittstelle [Spl21a] von Splunk übertragen.

4.4.2.2 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**, welches 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 /* ... */;
24  }
25 }

```

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.traceUtil.startChildSpan(
16      this.tracer, 'LocalizationService.getTranslations', parentSpan,
17      { 'shoppingCartId': window.customer.shoppingCartId }
18    );
19
20    // ...
21  }
22 }

```

```

18     );
19
20     // generate a jaeger-compatible trace header from OTEL span
21     const jaegerTraceHeader = this.traceUtil.
        serializeSpanContextToJaegerHeader(span.context());
22
23     // increment the requestCounter metric
24     this.requestCounter.add(1, { 'component': 'LocalizationService' });
25
26     return this.http.get<Localization>(
27         this.localizationServiceUrl,
28         { headers: { 'uber-trace-id': jaegerTraceHeader } }
29     )
30     .pipe(
31         tap(
32             (val) => {
33                 this.log.info('getTranslations(): returnVal = ', val);
34
35                 span.end();
36             },
37             (err) => {
38                 // handle and record exception
39                 span.recordException({ code: err.status, name: err.name,
40 message: err.message });
41                 span.end();
42             }
43         );
44     }
45 }

```

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 3.1.3 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.js³, jedoch befindet sich das browserkompatible Pendant⁴ seit 2017 in den Startlöchern [Lof17]. Weiterhin existiert ein OTEL Exporter für Jaeger⁵, welcher jedoch auch nur mit Node.js funktioniert. Grund hierfür ist, dass das zugrundeliegende Protokoll gRPC [Lin21] nicht komplett aus einer Browserumgebung aus unterstützt wird [Bra19].

Die gesammelten OTEL Tracingdaten werden über einen Standard-Exporter an das „Backend4Frontend“ gesendet, welcher diese dann in ein Jaeger-konformes Format umwan-

³Jaeger-Client für Node.js: <https://github.com/jaegertracing/jaeger-client-node>

⁴Jaeger-Client für Browser: <https://github.com/jaegertracing/jaeger-client-javascript/>

⁵OTEL Jaeger Exporter: <https://github.com/open-telemetry/opentelemetry-js/tree/main/packages/opentelemetry-exporter-jaeger>

delt und sie dann subsequent an Jaeger überträgt. Die Metrikdaten werden jedoch bereits im Frontend in ein Splunk-kompatibles Logformat konvertiert. Nach der Konvertierung werden die Daten an den `SplunkForwardingService` übergeben, welcher im folgenden Abschnitt näher beschrieben wird.

4.4.2.3 Logging

Das Logging im Frontend wurde über das npm [npm21] Paket `ngx-logger`⁶ 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     }),
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.

```
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 }
```

⁶ngx-logger auf GitHub: <https://github.com/dbfannin/ngx-logger>

```

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

4.4.2.4 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

4.4.2.5 Session-Replay

LogRocket wird standardmäßig nicht aktiv, außer wenn der Nutzer explizit der Aufzeichnung zustimmt. Dies bedeutet jedoch auch, dass bis zur Zustimmung keine Sitzungsdaten aufgenommen wurden. Klickt der Nutzer jedoch auf den, unten rechts in der Anwendung schwebenden, Button (vgl. Abbildung 4.12), wird ein Einverständnis-Dialog geöffnet. Hierbei (vgl. Abbildung 4.13) erhält der Nutzer eine Übersicht welche Daten aufgenommen werden und an wen diese dann weitergesendet werden. Stimmt der Nutzer zu, wird LogRocket initialisiert, wie im Quellcode 4.13 sowie Quellcode 4.14 zu sehen ist.

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.

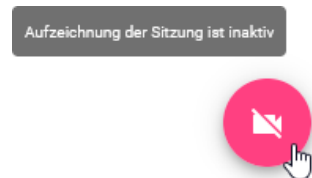


Abb. 4.12: Button zum Öffnen des Dialogs

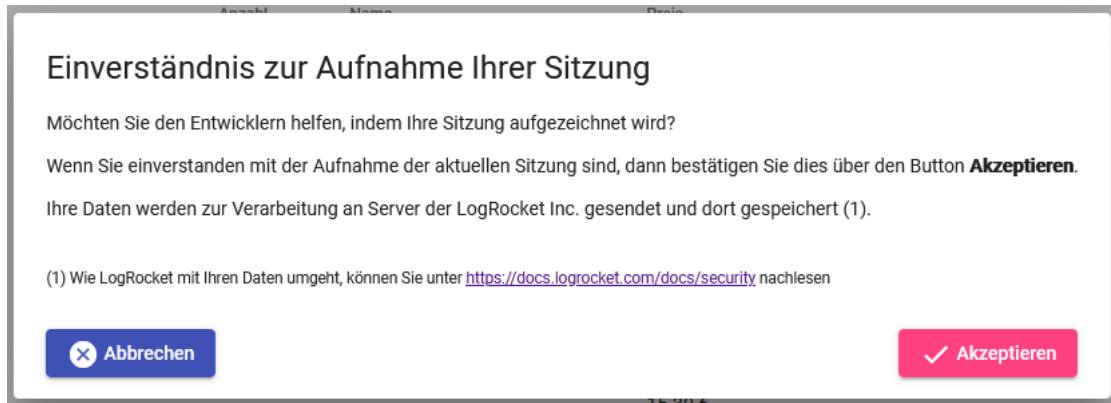


Abb. 4.13: Einverständnis-Dialog

```
1 <h1 mat-dialog-title>Einverständnis zur Aufnahme Ihrer Sitzung</h1>
2 <div mat-dialog-content>
3   <!-- Textinhalt -->
4 </div>
5 <div mat-dialog-actions class="cardActions">
6   <button mat-raised-button (click)="closeDialog()" color="primary">
7     Abbrechen
8   </button>
9   <button mat-raised-button (click)="activateLogRocket()" color="accent">
10     Akzeptieren
11   </button>
12 </div>
```

Quellcode 4.13: Angular HTML-Template der Einverständnis-Komponente

```
1 export class RecordConsentDialogComponent {
2   constructor(
3     public dialogRef: MatDialogRef<RecordConsentDialogComponent>,
4     @Inject(APP_CONFIG) private config: AppConfig
5   ) { }
6
7   closeDialog() {
8     this.dialogRef.close(window.logrocketData.sessionURL);
9   }
10
11   activateLogRocket() {
12     // initialize session recording
13     LogRocket.init(this.config.logRocketAppId, {});
14
15     // start a new session
16     LogRocket.startNewSession();
17
18     // pass unique "session"-id to LogRocket
```

```
19 |     LogRocket.identify(window.customer.shoppingCartId);
20 |
21 |     // make sessionURL accessible
22 |     LogRocket.getSessionURL((sessionURL) => {
23 |         window.logrocketData.sessionURL = sessionURL;
24 |
25 |         this.dialogRef.close(sessionURL);
26 |     });
27 | }
28 | }
```

Quellcode 4.14: Initialisierung von LogRocket in der Einverständnis-Komponente

4.4.3 Architektur

Abschließend lässt sich somit folgende, in Abbildung 4.14 zu betrachtende, Architektur visualisieren. Bei ① lässt sich die Übertragung von Spans an Jaeger betrachten, bei dem die Backend-Dienste aufgrund der verwendeten Java-Anbindung (`io.jaegertracing:jaeger-client`) die Spans über das Protokoll „Apache Thrift“ [Apa21] berichten und das „Backend4Frontend“ verwendet zur Weiterleitung eine OTel-Anbindung an Jaeger, die wiederum gRPC verwendet. Die Übertragung von Log-, Metrik sowie Fehlerdaten lässt sich bei ② betrachten, dabei handelt es sich um Daten, die zuvor vom Frontend gesendet wurden (vgl. ③). Die Kommunikation mit LogRocket (vgl. ④) funktioniert hingegen ohne Weiterleitung und über eine proprietäre Kommunikation auf Basis von gRPC.

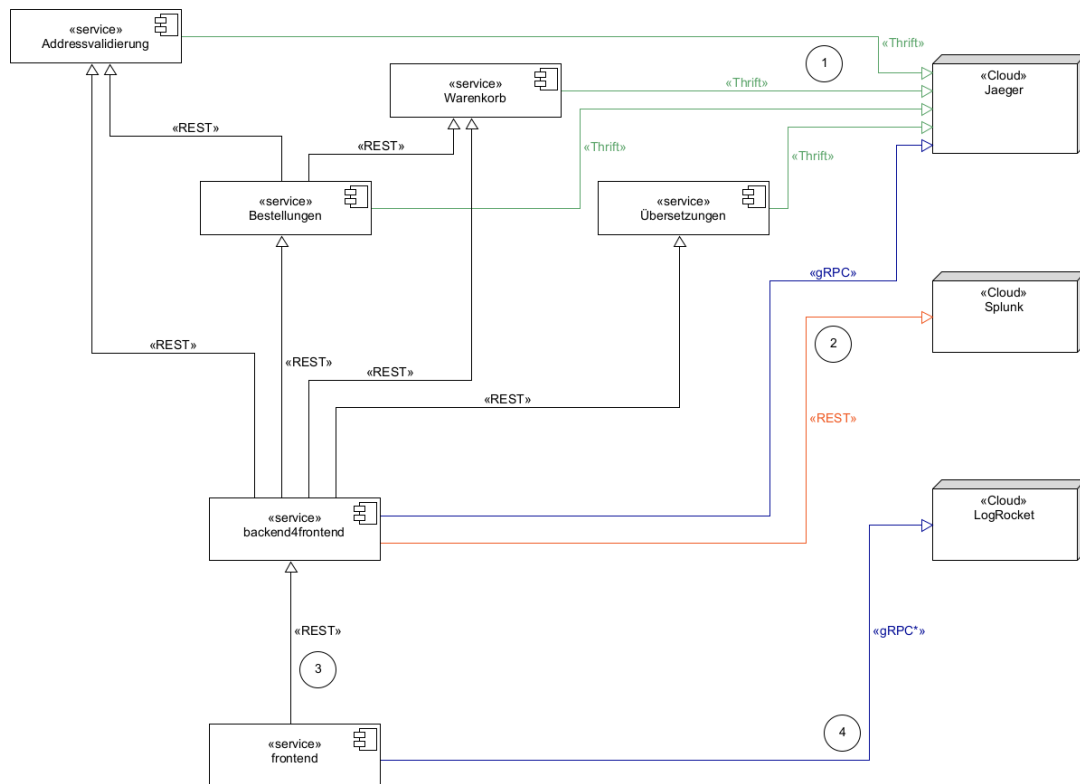


Abb. 4.14: Architektur des Proof-of-Concepts

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 Anforderungen 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?

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. Dabei wurde in der Suche jeweils bei den Optionen **von** und **bis** des Erscheinungsjahres jedes Jahr einzeln eingegeben und eine Suche durchgeführt, die Trefferanzahl wurde dann notiert. Die Daten hierfür wurden über die Literatursuchmaschine „Google Scholar“ am 25.02.2021 abgerufen. Für die Suche wurde folgender Suchterm benutzt:

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

Die jahresbezogene Trefferanzahl (vgl. Tabelle 7.1) soll aufdecken, ob ein Trend in der Literatur zu erkennen ist. Ein schwacher, aber vorhandener Negativtrend konnte festgestellt werden.

Weiterhin lässt sich die selbe Thematik bei Google Trends [Goo21b] untersuchen. Hierbei wurden die Suchtrends für den Suchterm **cross browser compatability** abgerufen und geplottet (vgl. Abbildung 7.1). Dabei lässt sich ebenso ein Negativtrend erkennen.

Jahr	Suchtreffer
2015	272
2016	228
2017	208
2018	204
2019	172
2020	167

Tab. 7.1: Suchtreffer zu Studien über Browserkompatibilität

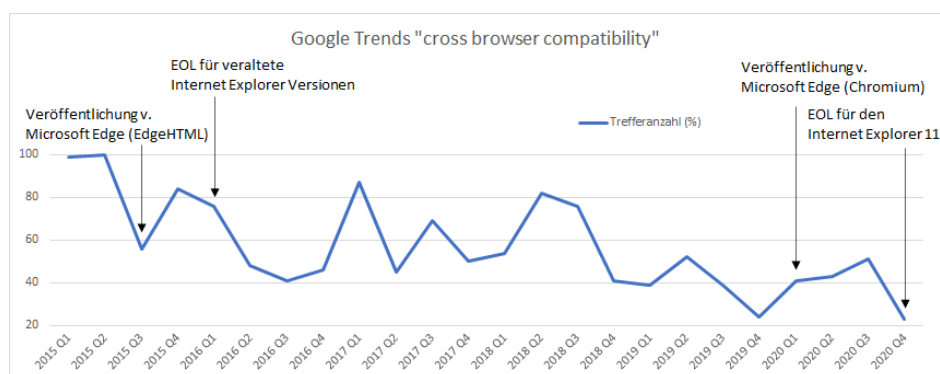


Abb. 7.1: Google Trends zur Browserkompatibilität, angereichert mit [Mic21]

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 Unterabschnitt 2.3.1

CNCF Cloud-Native-Computing-Foundation

CORS Cross-Origin Resource Sharing

CSP Content-Security-Policy

gRPC gRPC Remote-Procedure-Call

OTel OpenTelemetry

PoC Proof-of-Concept

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

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]	6
3.1	Fehlerbericht in der Instagram App [Fac20a]	11
3.2	Struktur eines Prometheus-Metrik-Datensatzes [Sri18]	13
3.3	Kausale Beziehung zwischen Spans. Eigene Darstellung.	14
3.4	Zeitliche Beziehung zwischen Spans. Eigene Darstellung.	14
3.5	Komponenten von OpenTelemetry, eigene Darstellung auf Basis von [Ope21b]	16
3.6	Mitschneiden von DOM-Events, Abb. aus [BBKE13]	19
3.7	Abspielen von DOM-Events, Abb. aus [BBKE13]	19
3.8	Abfragebeispiel in Splunk [Spl21d]	31
3.9	Dienst-Abhängigkeits-Graph. Quelle: Eigene Darstellung	31
3.10	Trace-Detailansicht. Quelle: Eigene Darstellung	32
3.11	Kerninformation eines Sentry-Issues	33
3.12	Userinteraktionen bei einer bestimmten Fehlerinstanz	33
3.13	Ausschnitt eines Session Replays bei LogRocket	34
4.1	Demoanwendung: Deployment-Diagramm, Quelle: Eigene Darstellung	41
4.2	Demoanwendung: Startseite „Warenkorb“	42
4.3	Demoanwendung: Seite „Rechnungsadresse“	43
4.4	Demoanwendung: Seite „Lieferdaten“	44
4.5	Demoanwendung: Seite „Zahlungsdaten“	46
4.6	Demoanwendung: Seite „Bestellübersicht“	47
4.7	Demoanwendung: Finale Seite „Bestellbestätigung“	48
4.8	Fehlende Texte	48
4.9	Grobe Architektur	60
4.10	Architektur mit speziellen Technologien	62
4.11	Ausschnitt des Traces zu Quellcode 4.6	63
4.12	Button zum Öffnen des Dialogs	70
4.13	Einverständnis-Dialog	71
4.14	Architektur des Proof-of-Concepts	73
7.1	Google Trends zur Browserkompatibilität, angereichert mit [Mic21]	76

Tabellenverzeichnis

3.1	Übersicht der untersuchten Technologien	22
3.2	Kategorisierung der untersuchten Technologien	25
3.3	Bewertung der Technologien der Kategorie „Log-Plattformen“	28
3.4	Bewertung der Technologien der Kategorie „Error-Tracking“	29
3.5	Bewertung der Technologien der Kategorie „Distributed-Tracing-Systeme“	29
3.6	Bewertung der Technologien der Kategorie „Session-Replay-Dienste“	30
4.1	Merkmale nach dem Kano-Modell der Kundenzufriedenheit	51
4.2	Kategorien der Anforderungen	51
4.3	Quellen der Anforderungen	52
4.4	Beispiel einer Anforderung	52
7.1	Suchtreffer zu Studien über Browserkompatibilität	76

Quellcodeverzeichnis

4.1	Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Warenkorb“	37
4.2	Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Rechnungsadresse“	37
4.3	Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Lieferadresse“	38
4.4	Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Zahlungsdaten“	39
4.5	Demoanwendung: Gherkin Definition zum Feature „Bestellung abschließen“	40
4.6	Beispielhafter Einsatz der @Traced-Annotation	63
4.7	Quellcode des Moduls „app-observability.module.ts“	64
4.8	Datenquelle zum Abrufen und Zusammenführen der Artikeldaten	65
4.9	Service zum Abrufen der Übersetzungsdaten	66
4.10	Ausschnitt des Hauptmoduls <code>app.module.ts</code>	68
4.11	Implementierung des <code>NGXLoggerMonitor</code> -Interfaces	68
4.12	ErrorHandler zum Abfangen und Weiterleiten von aufgetretenen Fehlern	69

4.13 Angular HTML-Template der Einverständnis-Komponente	71
4.14 Initialisierung von LogRocket in der Einverständnis-Komponente	71

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]
- [All02] ALLAIRE, Jeremy: Macromedia Flash MX-A next-generation rich client. In: *Macromedia white paper* (2002), S. 1–2
- [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
- [Apa21] APACHE SOFTWARE FOUNDATION: *Apache Thrift - Home*. <https://thrift.apache.org/>, 2021. – [Online; abgerufen am 02.03.2021]
- [App21a] APPDYNAMICS: *Application Performance Management (APM) / Produkt / AppDynamics*. https://www.appdynamics.com/de_de/product/application-performance-management, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [App21b] APPLE: *WebKit*. <https://webkit.org/>, 2021. – [Online; abgerufen am 02.03.2021]
- [Azu21] AZUREAPPLICATIONINSIGHTS: *What is Azure Application Insights? - Azure Monitor / Microsoft Docs*. <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/azure-monitor/app/app-insights-overview>, 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]
- [Bra19] BRANDHORST, Johan: *The state of gRPC in the browser / gRPC*. <https://github.com/grpc/grpc.io/blob/main/content/en/blog/state-of-grpc-web.md>, 2019. – [Online; abgerufen am 02.03.2021]
- [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
- [CCP12] CINQUE, Marcello ; COTRONEO, Domenico ; PECCHIA, Antonio: Event logs for the analysis of software failures: A rule-based approach. In: *IEEE Transactions on Software Engineering* 39 (2012), Nr. 6, S. 806
- [CDM⁺12] CHOUDHARY, Suryakant ; DINCTURK, Mustafa E. ; MIRTAHERI, Seyed M. ; MOOSAVI, Ali ; BOCHMANN, Gregor von ; JOURDAN, Guy-Vincent ; ONUT, Iosif V.: Crawling rich internet applications: the state of the art. In: *Proceedings of the 2012 Conference of the Center for Advanced Studies on Collaborative Research*, 2012, S. 146–160
- [ČF17] ČEGAN, Lukáš ; FILIP, Petr: Advanced web analytics tool for mouse tracking and real-time data processing. In: *2017 IEEE 14th International Scientific Conference on Informatics* IEEE, 2017, S. 431–435
- [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
- [CGM14] CASTELEYN, Sven ; GARRIGÓS, Irene ; MAZÓN, Jose-Norberto: Ten years of rich internet applications: A systematic mapping study, and beyond. In: *ACM Transactions on the Web (TWEB)* 8 (2014), Nr. 3, S. 1–3

- [CPO14] CHOUDHARY, Shaunik R. ; PRASAD, Mukul R. ; ORSO, Alessandro: X-PERT: 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
- [CSP12] *Kapitel 20.* In: CHUVAKIN, Anton ; SCHMIDT, Kevin ; PHILLIPS, Chris: *Logging and log management: the authoritative guide to understanding the concepts surrounding logging and log management*. Newnes, 2012, S. 369–380
- [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
- [DD18] DISSANAYAKE, Nalaka R. ; DIAS, K.: Rich web-based applications: an umbrella term with a definition and taxonomies for development techniques and technologies. In: *Int. J. Future Comput. Commun* 7 (2018), Nr. 1, S. 14–20
- [Doc20] DOCKER: *Docker overview / Docker Documentation*. <https://docs.docker.com/get-started/overview/>, 2020. – [Online; abgerufen am 15.02.2021]
- [Dog20] *Kapitel 1.* In: DOGUHAN, Uluca: *Angular for Enterprise-Ready Web Applications : Build and Deliver Production-grade and Cloud-scale Evergreen Web Apps with Angular 9 and Beyond, 2nd Edition..* Bd. Second edition. Packt Publishing, 2020. – ISBN 9781838648800, S. 4–9
- [Dyn20] DYNATRACE: *Application performance monitoring (APM) / Dynatrace*. <https://www.dynatrace.com/platform/application-performance-monitoring/>, 2020. – [Online; abgerufen am 21.02.2021]
- [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]
- [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 IEEE*, 2018, S. 1–5
- [FEH⁺14] FATEMA, Kaniz ; EMEAKAROHA, Vincent C. ; HEALY, Philip D. ; MORRISON, John P. ; LYNN, Theo: A survey of cloud monitoring tools: Taxonomy, capabilities and objectives. In: *Journal of Parallel and Distributed Computing* 74 (2014), Nr. 10, S. 2918–2933
- [Fil20] FILIPE, Ricardo Ângelo S.: *Client-Side Monitoring of Distributed Systems*, Universidade de Coimbra, Diss., 2020
- [Flu21a] FLUENTD PROJECT: *Fluentd / Open Source Data Collector / Unified Logging Layer*. <https://www.fluentd.org/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Flu21b] FLUENTD PROJECT: *Why use Fluentd? / Fluentd*. <https://www.fluentd.org/why>, 2021. – [Online; abgerufen am 19.02.2021]
- [FN07] FARRELL, Jason ; NEZLEK, George S.: Rich internet applications the next stage of application development. In: *2007 29th International Conference on Information Technology Interfaces IEEE*, 2007, S. 413–418
- [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
- [FRSF10] FRATERNALI, Piero ; ROSSI, Gustavo ; SÁNCHEZ-FIGUEROA, Fernando: Rich Internet Applications. In: *IEEE Internet Computing* 14 (2010), Nr. 3, S. 9–12
- [Ful21] FULLSTORY: *FullStory: Build a More Perfect Digital Experience / FullStory*. <https://www.fullstory.com/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Fun20a] FUNCTIONAL SOFTWARE: *getsentry/sentry-javascript: Official Sentry SDKs for Javascript*. <https://github.com/getsentry/sentry-javascript>, 2020. – [Online; abgerufen am 23.11.2020]
- [Fun20b] FUNCTIONAL SOFTWARE: *Self-Hosted Sentry / Sentry Developer Documentation*. <https://develop.sentry.dev/self-hosted/>, 2020. – [Online; abgerufen am 23.11.2020]
- [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 21.02.2021]
- [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]
- [Git21] GITHUB: *About / GitHub*. <https://github.com/about>, 2021. – [Online; abgerufen am 19.02.2021]
- [Goo20] GOOGLE: *Angular*. <https://angular.io>, 2020. – [Online; abgerufen am 12.10.2020]
- [Goo21a] GOOGLE: *Analytics Tools & Solutions for Your Business - Google Analytics*. <https://marketingplatform.google.com/about/analytics/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Goo21b] GOOGLE: *cross browser compatibility - Explore - Google Trends*. <https://trends.google.com/trends/explore?date=2015-01-01%202020-12-31&q=cross%20browser%20compatibility>, 2021. – [Online; abgerufen am 25.02.2021]
- [HHMO17] HEGER, Christoph ; HOORN, André van ; MANN, Mario ; OKANOVIĆ, Dušan: Application performance management: State of the art and challenges for the future. In: *Proceedings of the 8th ACM/SPEC on International Conference on Performance Engineering*, 2017, S. 429–432
- [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
- [Hög20] HÖGLUND, Jonas: An Analysis Of A Distributed Tracing Systems Effect On Performance. (2020)
- [HZH⁺17] HE, Pinjia ; ZHU, Jieming ; HE, Shilin ; LI, Jian ; LYU, Michael R.: Towards automated log parsing for large-scale log data analysis. In: *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing* 15 (2017), Nr. 6, S. 931–944
- [IF14] *Kapitel 1s*. In: IDO FLATOW, Gil F.: *Introducing Single Page Applications*. Berkeley, CA : Apress, 2014. – ISBN 978–1–4302–6674–7, S. 3–13

- [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://whatistechtarget.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 AUTOREN: *Jaeger: open source, end-to-end distributed tracing*. <https://www.jaegertracing.io/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Jae21c] JAEGER AUTOREN: *OpenTelemetry - Jaeger documentation*. <https://www.jaegertracing.io/docs/1.21/opentelemetry/>, 2021. – [Online; abgerufen am 19.02.2021]
- [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
- [Kau07] *Kapitel 1*. In: KAUSHIK, Avinash: *Web analytics: an hour a day*. John Wiley & Sons, 2007, S. 1–10
- [Kha17] KHAN, Asif: Key characteristics of a container orchestration platform to enable a modern application. In: *IEEE cloud Computing* 4 (2017), Nr. 5, S. 42–48
- [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
- [Lin20] LINUX FOUNDATION: *What is Kubernetes? / Kubernetes*. <https://kubernetes.io/docs/concepts/overview/what-is-kubernetes/>, 2020. – [Online; abgerufen am 15.02.2021]
- [Lin21] LINUX FOUNDATION: *About gRPC / gRPC*. <https://grpc.io/about/>, 2021. – [Online; abgerufen am 15.02.2021]
- [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
- [Lof17] LOFFAY, Pavol: *Usage in a browser - Issue #109 - jaegertracing/jaeger-client-node*. <https://github.com/jaegertracing/jaeger-client-node/issues/109>, 2017. – [Online; abgerufen am 02.03.2021]
- [Log20] LOGROCKET: *Performance*. <https://docs.logrocket.com/docs/performance>, 2020. – [Online; abgerufen am 16.12.2020]
- [Log21] LOGROCKET: *LogRocket / Logging and Session Replay for JavaScript Apps*. <https://logrocket.com/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [LVG⁺18] LEZNIK, Mark ; VOLPERT, Simon ; GRIESINGER, Frank ; SEYBOLD, Daniel ; DOMASCHKA, Jörg: Done yet? A critical introspective of the cloud management toolbox. In: *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)* IEEE, 2018, S. 1–8
- [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
- [Men19] MENESES, Luis: Netlytic. In: *Early Modern Digital Review* 2 (2019), Nr. 1
- [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/microsoft-365-apps-say-farewell-to-internet-explorer-11-and/ba-p/1591666>, 2020. – Pressemitteilung, [Online; abgerufen am 25.02.2021]
- [Mic20b] MICROSOFT: *New Microsoft Edge to replace Microsoft Edge Legacy with April's Windows 10 Update Tuesday release*. <https://techcommunity.microsoft.com/t5/microsoft-365/new-microsoft->

- edge-to-replace-microsoft-edge-legacy-with-april-s/ba-p/2114224, 2020. – Pressemitteilung, [Online; abgerufen am 25.02.2021]
- [Mic21] MICROSOFT: *Lifecycle FAQ - Internet Explorer and Edge / Microsoft Docs*. <https://docs.microsoft.com/en-us/lifecycle/faq/internet-explorer-microsoft-edge>, 2021. – [Online; abgerufen am 25.02.2021]
- [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]
- [New20] NEW RELIC: *New Relic APM / New Relic*. <https://newrelic.com/products/application-monitoring/features>, 2020. – [Online; abgerufen am 21.02.2021]
- [New21] NEW RELIC: *New Relic / Deliver more perfect software*. <https://newrelic.com/>, 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 CONSORTIUM: *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 Community Members*. <https://github.com/open-telemetry/community/blob/01acd5d2c39b764554ac3d87a64a18a09250e9a3/community-members.md>, 2020. – [Online; abgerufen am 22.02.2021]
- [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: *OpenTelemetry Specification / Overview*. <https://github.com/open-telemetry/opentelemetry-specification/blob/168aa71131420f58d3428e206b84a69b97dd7a07/specification/overview.md>, 2021. – [Online; abgerufen am 23.12.2021]
- [Ope21c] OPENTELEMETRY: *Tracking OTel Spec Issues for GA*. <https://github.com/open-telemetry/opentelemetry-specification/issues/1118>, 2021. – [Online; abgerufen am 01.03.2021]

- [Ope21d] 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]
- [OTMC11] OYAMA, Katsunori ; TAKEUCHI, Atsushi ; MING, Hua ; CHANG, Carl K.: A Concept Lattice for Recognition of User Problems in Real User Monitoring. In: *2011 18th Asia-Pacific Software Engineering Conference* IEEE, 2011, S. 163–170
- [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/CyberSci-Tech)* IEEE, 2018, S. 776–784
- [PLSC05] PRECIADO, Juan C. ; LINAJE, Marino ; SANCHEZ, Fernando ; COMAI, Sara: Necessity of methodologies to model Rich Internet Applications. In: *Seventh IEEE International Symposium on Web Site Evolution* IEEE, 2005, S. 7–13
- [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]
- [PSF04] PHIPPEN, Andrew ; SHEPPARD, L. ; FURNELL, Steven: A practical evaluation of Web analytics. In: *Internet Research* (2004)
- [PSM⁺20] *Kapitel 3*. In: PARKER, Austin ; SPOONHOWER, Daniel ; MACE, Jonathan ; SIGELMAN, Ben ; ISAACS, Rebecca: *Distributed tracing in practice: Instrumenting, analyzing, and debugging microservices*. 1. O'Reilly Media, 2020. – ISBN 978-1-492-05663-8, S. 34–43
- [RAF19] ROCHIM, Adian F. ; AZIZ, Mukhlis A. ; FAUZI, Adnan: Design log management system of computer network devices infrastructures based on ELK stack. In: *2019 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)* IEEE, 2019, S. 338–342

- [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
- [RIS18] REYNOLDS, Christopher R. ; ISLAM, Suhail A. ; STERNBERG, Michael J.: EzMol: a web server wizard for the rapid visualization and image production of protein and nucleic acid structures. In: *Journal of molecular biology* 430 (2018), Nr. 15, S. 2244–2248
- [Rol21] ROLLBAR: *Rollbar - Error Tracking Software for JavaScript, PHP, Ruby, Python and more*. <https://rollbar.com/>, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [RSJ⁺12] RABL, Tilmann ; SADOGLI, Mohammad ; JACOBSEN, Hans-Arno ; GÓMEZ-VILLAMOR, Sergio ; MUNTÉS-MULERO, Victor ; MANKOWSKII, Serge: Solving big data challenges for enterprise application performance management. In: *Proceedings of the VLDB Endowment* 5 (2012), Nr. 12
- [SBB⁺10] SIGELMAN, Benjamin H. ; BARROSO, Luiz A. ; BURROWS, Mike ; STEPHENSON, Pat ; PLAKAL, Manoj ; BEAVER, Donald ; JASPAN, Saul ; SHANBHAG, Chandan: Dapper, a large-scale distributed systems tracing infrastructure / Google. 2010. – Forschungsbericht
- [SCF15] SOUSA, Tiago B. ; CORREIA, Filipe F. ; FERREIRA, Hugo S.: Patterns for software orchestration on the cloud. In: *Proceedings of the 22nd Conference on Pattern Languages of Programs*, 2015, S. 1–12
- [SM21] SHARMA, Rahul ; MATHUR, Akshay: Logs, Request Tracing, and Metrics. In: *Traefik API Gateway for Microservices*. Springer, 2021, S. 127–129
- [Sma19] SMARTBEAR SOFTWARE: *Gherkin Syntax*. <https://cucumber.io/docs/gherkin/>, 2019. – [Online; abgerufen am 14.11.2020]
- [Spl21a] SPLUNK: *HTTP Event Collector REST API endpoints - Splunk Documentation*. <https://docs.splunk.com/Documentation/Splunk/8.1.2/Data/HECRESTendpoints>, 2021. – [Online; abgerufen am 21.02.2021]
- [Spl21b] SPLUNK: *Splunk APM / DevOps / Splunk*. https://www.splunk.com/en_us/software/splunk-apm.html, 2021. – [Online; abgerufen am 17.02.2021]
- [Spl21c] SPLUNK: *Splunk SPL for SQL users - Splunk Documentation*. <https://docs.splunk.com/Documentation/Splunk/8.1.2/SearchReference/SQLtoSplunk>, 2021. – [Online; abgerufen am 21.02.2021]

- [Spl21d] SPLUNK: *Use the search language - Splunk Documentation*. <https://docs.splunk.com/Documentation/Splunk/8.1.2/SearchTutorial/Usetheseearchlanguage>, 2021. – [Online; abgerufen am 21.02.2021]
- [Sri18] *Kapitel 4*. In: SRIDHARAN, Cindy: *Distributed Systems Observability: A Guide to Building Robust Systems*. O'Reilly Media, 2018, S. 17–26
- [SS97] *Kapitel Introduction*. In: SOMMERVILLE, Ian ; SAWYER, Pete: *Requirement-sengineering: a good practice guide*. John Wiley and Sons, 1997, S. 7–8
- [Sta21a] STACKSHARE: *Jaeger vs Zipkin / What are the differences?* <https://stackshare.io/stackups/jaeger-vs-zipkin>, 2021. – [Online; abgerufen am 19.02.2021]
- [Sta21b] STACKSHARE: *What are the best Exception Monitoring Tools?* <https://stackshare.io/exception-monitoring>, 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
- [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
- [Vet20] VETHANAYAGAM, Suhanthan: Threat Identification from Access Logs Using Elastic Stack. (2020), November

- [W3C06] W3C: WORLD WIDE WEB CONSORTIUM: *The XMLHttpRequest Object*. <https://www.w3.org/TR/2006/WD-XMLHttpRequest-20060405/>, 2006. – [Online; abgerufen am 27.10.2020]
- [W3C20a] W3C: WORLD WIDE WEB CONSORTIUM: *About W3C Standards*. <https://www.w3.org/standards/about.html>, 2020. – [Online; abgerufen am 29.10.2020]
- [W3C20b] W3C: WORLD WIDE WEB CONSORTIUM: *Accessible Rich Internet Applications (WAI-ARIA) 1.1*. <https://www.w3.org/TR/wai-aria/>, 2020. – [Online; abgerufen am 25.02.2021]
- [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]
- [YZS16] YU, Fang ; ZHUANG, Weijin ; SUN, Mingyang: Research and application of operating monitoring and evaluation for dispatching automation and control system. In: *2016 IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)* IEEE, 2016, S. 1638–1641
- [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]