

Bachelorthesis

Nachvollziehbarkeit von Nutzerinteraktionen und Anwendungsverhalten am Bei- spiel 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, 7. März 2021

Kurzfassung

Im Projektalltag führen Probleme in JavaScript-basierten Webanwendungen zu kostspieligen Ausfällen, die oft durch fehlende Informationen länger dauern als vergleichbare Fehler in Backendsystemen. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit das Problem der Nachvollziehbarkeit bei diesen Webanwendungen untersucht.

Das Ziel der Arbeit ist es, eine Erkenntnis hervorzubringen, warum Entwickler und Betreiber von einer Webanwendung weniger relevante Informationen erhalten. Weiterhin ist zu ergründen, wie dieser Informationslücke entgegenwirkt werden kann, gibt es hierbei bewährte Ansätze und wie sieht der Stand der Technik aus. Letztendlich ist ein Proof-of-Concept hervorzubringen, anhand dessen die gefundenen Ansätze anzuwenden und zu veranschaulichen sind.

Um das Ziel der Arbeit zu erreichen wurde zunächst die Ausgangssituation beschrieben, um festzustellen welche besonderen Eigenschaften diese Webanwendungen besitzen. Folgend wurde die Nachvollziehbarkeit als solche ergründet und welche Methoden existieren, um eine bessere Nachvollziehbarkeit zu erreichen. Darauf aufbauend beleuchtet die Arbeit zudem den Stand der Technik, sowie wurden kriteriengeleitet einige Technologien ausgewählt, um diese beim Proof-of-Concept zu verwenden.

Der Proof-of-Concept wurde auf Basis einer Demoanwendung erstellt, bei welcher es sich hauptsächlich um eine mit Angular erstellte SPA handelt. Bei der SPA handelt es sich um einen Checkout-Wizard, welcher eingebaute Fehlerszenarien enthält. Für den Proof-of-Concept wurde diese SPA in verschiedenen Aspekten erweitert, um bspw. Logs, Metriken, Traces und Fehler zu protokollieren. Diese Daten wurden an Partnersysteme (Splunk, Jaeger, LogRocket) weitergeleitet und somit den Entwicklern sowie Betreibern aufbereitet zur Verfügung gestellt.

Letztendlich wurde die erstellte Lösung durch zuvor definierte Anforderungen und aufzudeckende Fehlerszenarien überprüft und es konnte festgestellt werden, dass der geforderte Mehrwert erreicht werden konnte. Weiterhin konnte eine Übertragbarkeit auf andere ähnliche Softwareprojekte identifiziert werden, sodass die erstellte Lösung auch hier anwendbar ist.

Abstract

Failures in web applications that rely on JavaScript often result in costly outages. The time to fix can also be magnified compared to similar issues with backend applications, caused by missing crucial information needed to debug and fix the issue. To combat this, this thesis explores the problem of observability of web applications.

The aim of the work is therefore to bring forth an understanding, why relevant information is missing. Furthermore is to explore, how this information can be obtained and if there are tried and tested methods to achieve this. Based on this gathered understanding a proof of concept is to be developed, that uses the findings and illustrates their purpose.

To achieve the aim of the work first and foremost the environment is investigated, e. g. what are the characteristics of web applications that differ from backend applications. After that the term observability is defined and examined. The state of the art in regard to observability is studied, resulting in the knowledge of current methods and technologies. Based on these findings, some technologies are selected for use in the proof of concept.

The proof of concept is developed based on a demo application, that is in its core an Angular SPA. The SPA is a wizard for a webshop checkout, which also contains built-in issues. This demo application was then extended to yield more information, such as logs, metrics, traces and errors. This data was then forwarded to systems, that utilized them to enable developers and operators to observe the SPA. These systems were Splunk, Jaeger and LogRocket.

Finally the created solution was verified based on requirements and its ability to reveal crucial information about the built-in issues. It was found that the solution yielded the required information and also fulfilled the vast majority of the previously defined requirements. Additionally it was determined that the created solution is applicable to other similar software projects.

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)	18
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 und Auswahl	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	47
4.1.4.1	„Keine Übersetzungen“	48
4.1.4.2	„Ungültige Adressen sind gültig“	48
4.1.4.3	„Lange Verarbeitung“	48
4.1.5	Repräsentation	48
4.2	Anforderungen	49
4.2.1	Definitionen	49
4.2.2	Anforderungsanalyse	50
4.2.3	Anforderungsliste	51
4.2.3.1	Funktionsumfang	51
4.2.3.2	Eigenschaften	54
4.2.3.3	Partnersysteme	54
4.3	Konzept	56
4.4	Implementierung	58

Inhaltsverzeichnis

4.4.1	Backend	58
4.4.2	Frontend	59
4.4.2.1	Datenweiterleitung im „Backend4Frontend“	59
4.4.2.2	Traces und Metriken	60
4.4.2.3	Logging	63
4.4.2.4	Fehler	64
4.4.2.5	Weiterleitung an Splunk	65
4.4.2.6	Session-Replay	68
4.4.3	Architektur	69
5	Ergebnis	71
5.1	Demonstration	71
5.1.1	Aufdecken des Szenarios „Keine Übersetzungen“	71
5.1.2	Aufdecken des Szenarios „Ungültige Adressen sind gültig“	73
5.1.3	Aufdecken des Szenarios „Lange Verarbeitung“	73
5.2	Bewertung der Anforderungen	74
5.3	Übertragbarkeit	76
5.4	Einfluss für den Nutzer	77
6	Abschluss	80
6.1	Fazit	80
6.2	Ausblick	80
	Anhang	81
7	Anhang	81
7.1	Studien zur Browserkompatibilität	81
7.2	Weitere Demonstration	82
7.2.1	LogRocket	82
7.2.2	Splunk	82
7.2.3	Jaeger	84
	Eidesstattliche Erklärung	85
	Abkürzungsverzeichnis	86
	Abbildungsverzeichnis	87
	Tabellenverzeichnis	89
	Quellcodeverzeichnis	89
	Literaturverzeichnis	91

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 serverseitigem 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.

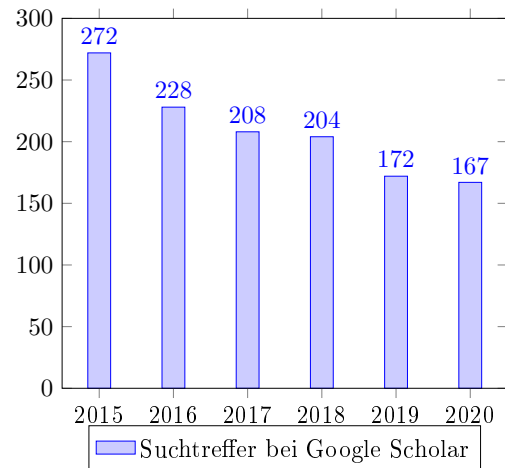


Abb. 2.1: Studien zur Browserkompatibilität, eigene Darstellung (vgl. 7.1)

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) [MM21a]. 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.

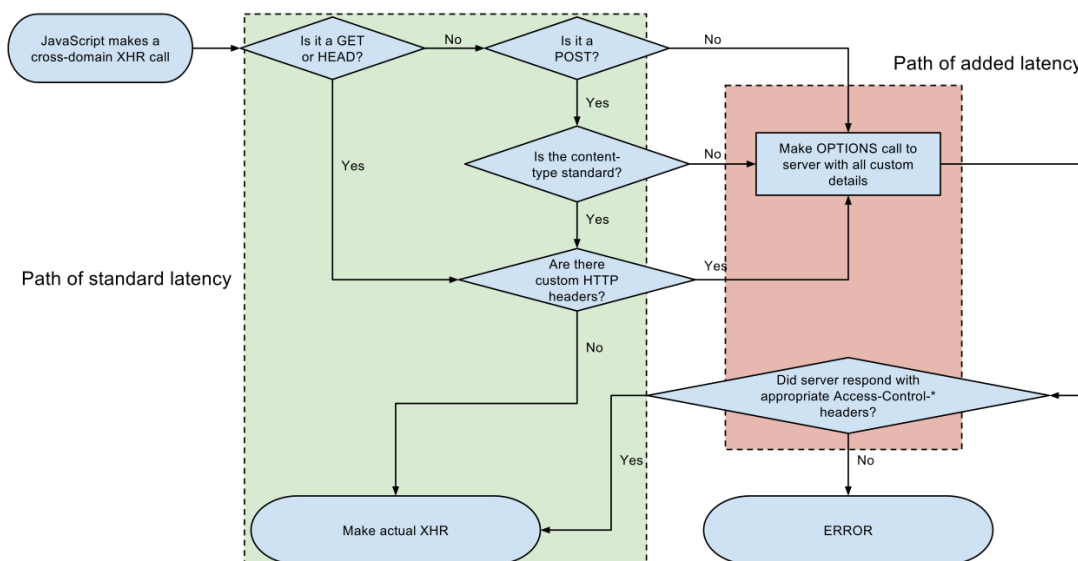


Abb. 2.2: Flowchart über den Ablauf von Ajax-Anfragen mit CORS [Blu15]

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

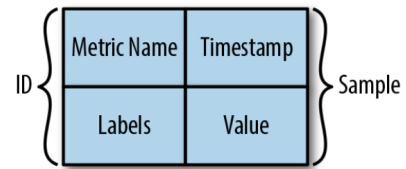


Abb. 3.2: Struktur eines Prometheus-Metrik-Datensatzes [Sri18]

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.

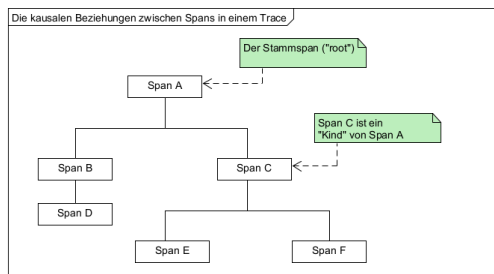


Abb. 3.3: Kausale Beziehung zwischen Spans. Eigene Darstellung.

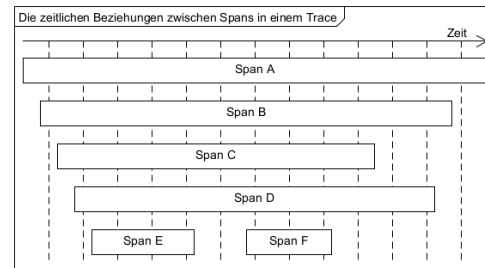


Abb. 3.4: Zeitliche Beziehung zwischen Spans. Eigene Darstellung.

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,

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

die das gleiche Ziel 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 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 Schnittstellaufrufen) 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.

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

- **Telemetry-Backend:** Ein Telemetry-Backend stellt die Datensinke der OTel-Daten dar und bietet den Entwicklern und Betreibern eine Visualisierung der gesammelten Daten. Beispiele hierfür sind z. B. Jaeger [Jae21b] oder Prometheus [Pro21].

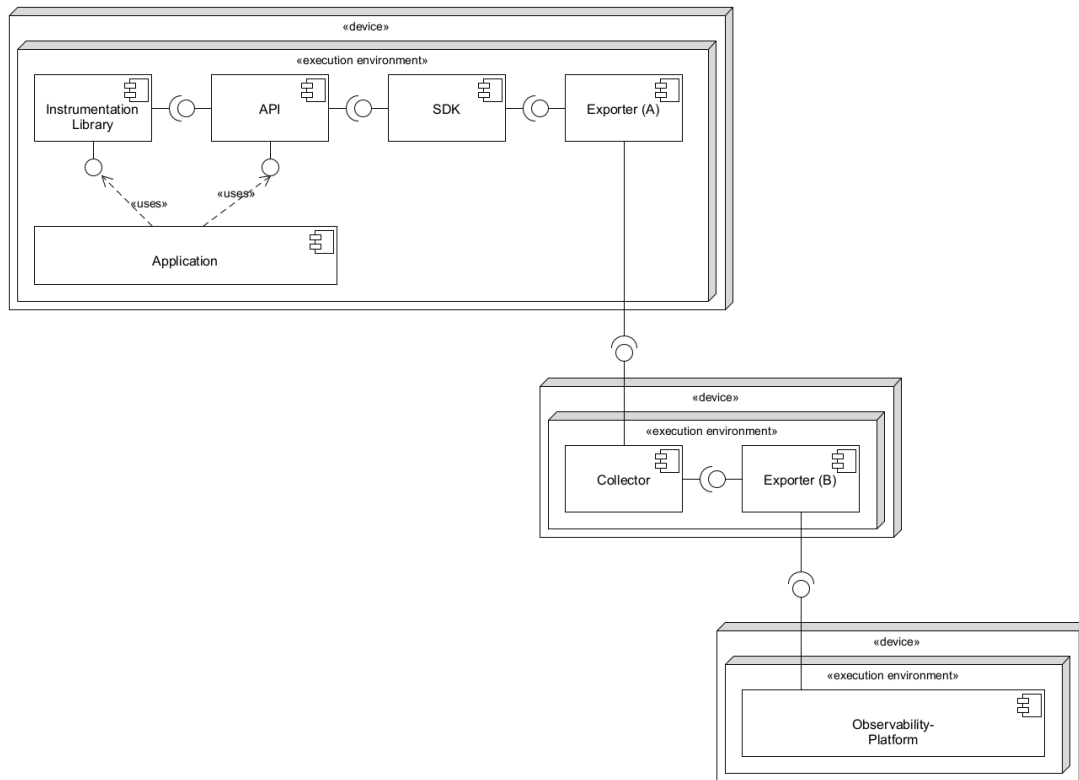


Abb. 3.5: Komponenten von OpenTelemetry, eigene Darstellung auf Basis von [Ope21b]

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. Abbil-

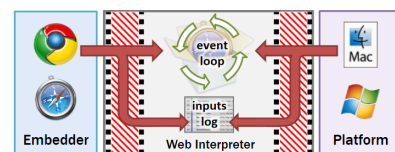


Abb. 3.6: Mitschneiden von DOM-Events, Abb. aus [BBKE13]

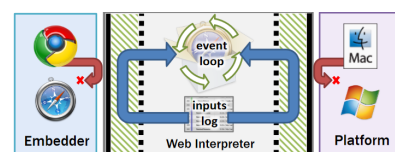


Abb. 3.7: Abspielen von DOM-Events, Abb. aus [BBKE13]

dung 3.7). Dies bedeutet es ist ein exaktes wiederholtes Ausführen in derselben Umgebung möglich und dies ermöglicht eine detaillierte Nachvollziehbarkeit des Anwendungsverhaltens. Leider wird für diesen Ansatz eine gepatchte Version von WebKit [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.

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]

Martínez *et al.* [HMLJ21] fanden in ihrer Evaluierung von Werkzeugen bei der Unterstützung von E2E-Tests, dass die beiden OpenSource-Technologien Jaeger [Jae21b] und Zipkin [Zip21] aktiv dabei helfen können Fehlerszenarien in Microservice-Architekturen besser nachzuvollziehen. Li *et al.* [LLG⁺19] beschreiben, wie mit Prometheus [Pro21], Jaeger, Zipkin und Fluentd [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 Schlüssel 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 (Signal-FX)	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 (Signal-FX)	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	

Technologie	IM	ASM	RUM	Error-Monitoring	Log-Mgmt.	Tracing	Session-Replay
Error-Tracking							
Sentry			ja(*)	ja			
TrackJS			ja(*)	ja			
Rollbar			ja(*)	ja			
Airbrake	ja	ja		ja			
Bugsnag				ja			
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

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]

- 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. 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 und Auswahl

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 [FČ18]. 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, Splunk Enterprise (nachfolgend auch nur Splunk genannt), welches Splunks Kernprodukt darstellt und einer der führenden Plattformen auf dem Markt ist [Vet20]. Diese Lösung wird als OnPremise sowie auch als SaaS angeboten, dies erlaubt ein Flexibilität 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

✓ 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	30.495649
ARCADE	493	18.653046
TEE	367	13.885736
ACCESSORIES	348	13.166856
SIMULATION	246	9.307605
SHOOTER	245	9.269769
SPORTS	138	5.221339

Abb. 3.8: Abfragebeispiel in Splunk aus [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 Spans lassen sich weitere Informationen an-

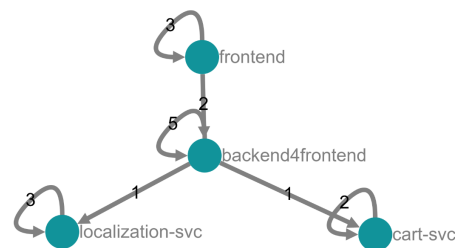


Abb. 3.9: Dienst-Abhängigkeits-Graph. Quelle: Eigene Darstellung

zeigen, 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.

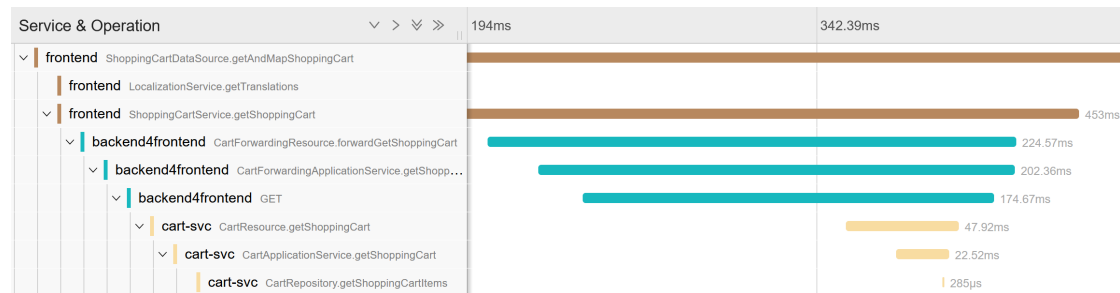


Abb. 3.10: Trace-Detailansicht. Eigener Screenshot aus Jaeger

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.

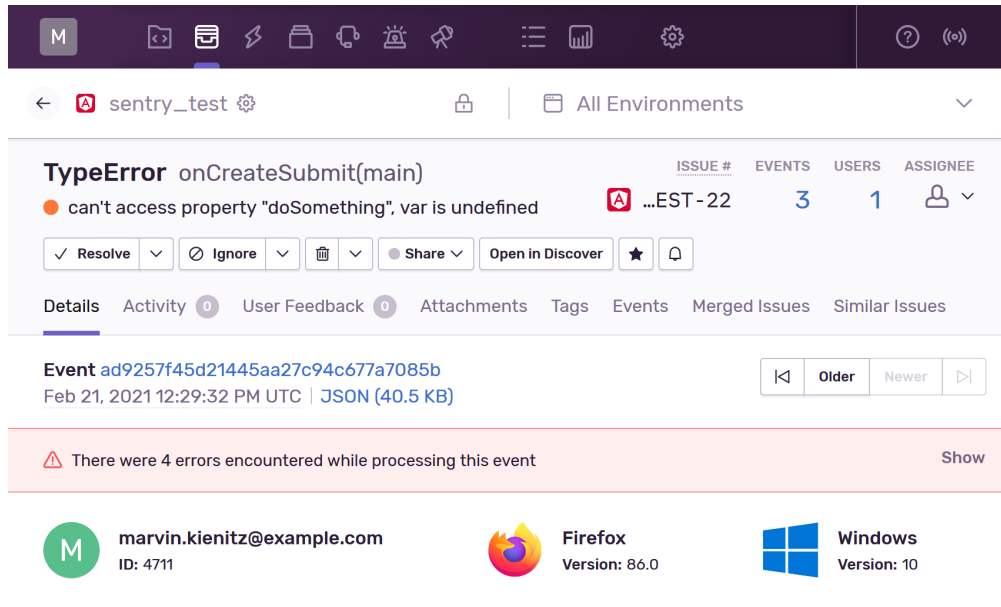
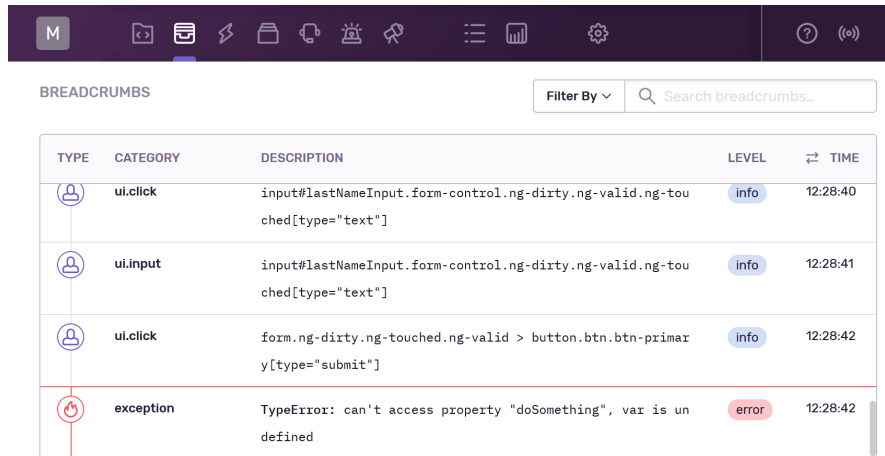


Abb. 3.11: Kerninformation eines Issues. Eigener Screenshot aus Sentry



TYPE	CATEGORY	DESCRIPTION	LEVEL	TIME
ui.click		input#lastNameInput.form-control.ng-dirty.ng-valid.ng-touched[type="text"]	info	12:28:40
ui.input		input#lastNameInput.form-control.ng-dirty.ng-valid.ng-touched[type="text"]	info	12:28:41
ui.click		form.ng-dirty.ng-touched.ng-valid > button.btn.btn-primary[type="submit"]	info	12:28:42
exception		TypeError: can't access property "doSomething", var is undefined	error	12:28:42

Abb. 3.12: Userinteraktionen bei einer bestimmten Fehlerinstanz. Eigener Screenshot aus Sentry

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.

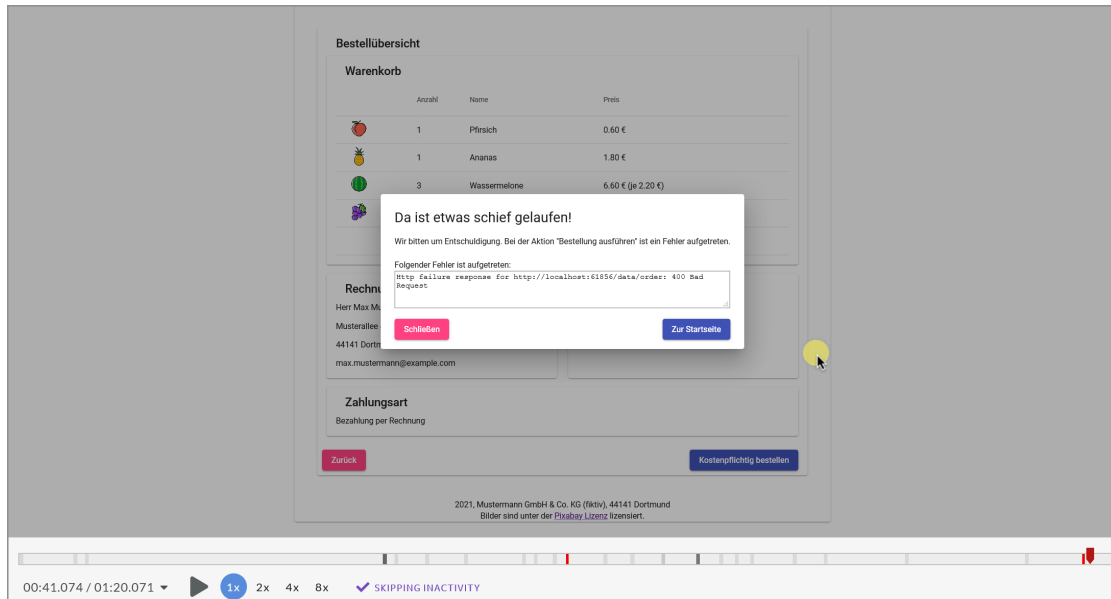


Abb. 3.13: Ausschnitt eines Session Replays. Eigener Screenshot aus LogRocket

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 Ar-

chitektur 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.

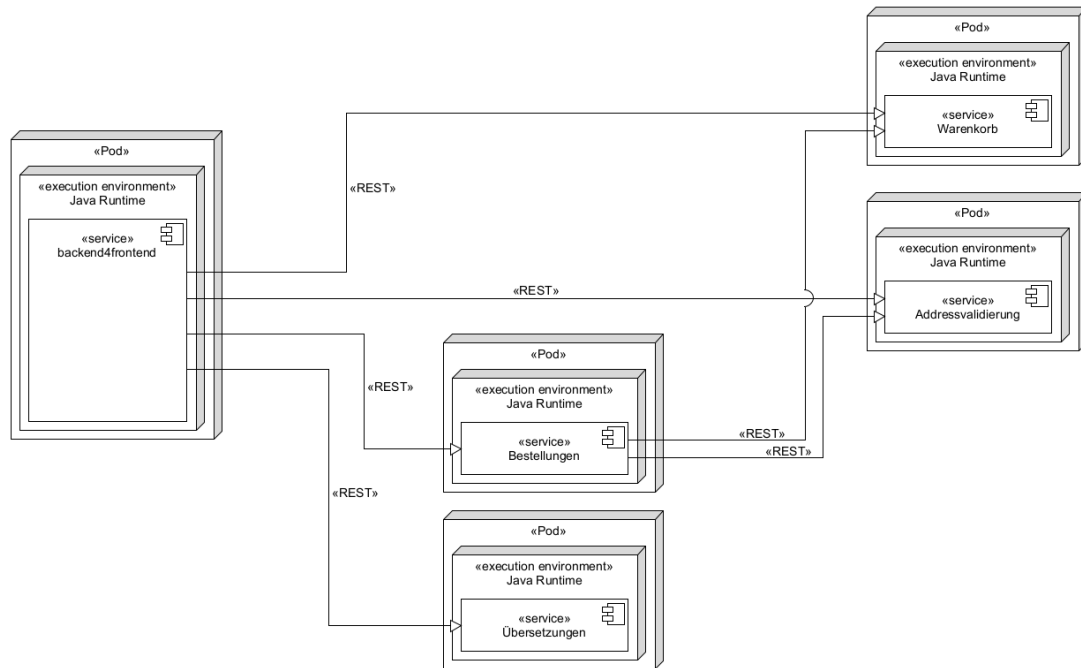


Abb. 4.1: Demoanwendung: Deployment-Diagramm. Eigene Darstellung

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 auf Basis von Angular ein Wizard erstellt, welcher mehrere aufeinander folgende Formulare in derselben SPA enthält. Folgend 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 Ansichtseite 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 Serverabrufl durchgeführt, sondern in der SPA ein Seitenwechsel vorgenommen.

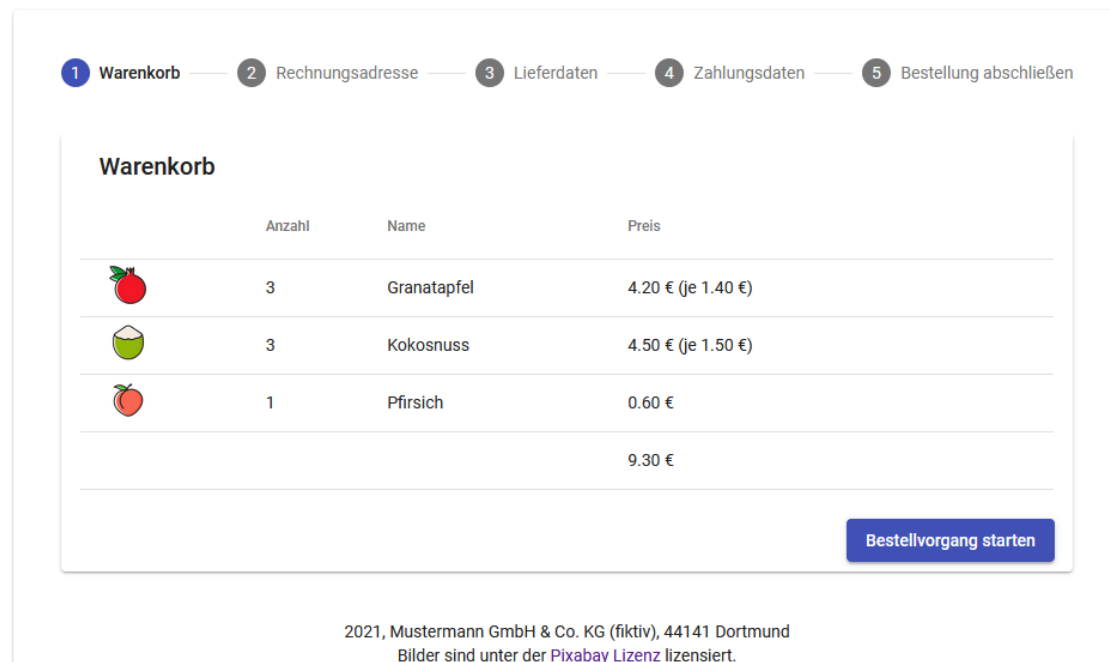


Abb. 4.2: Demoanwendung: Startseite „Warenkorb“. Eigener Screenshot

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.

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

Rechnungsadresse

Anrede
Herr

Vorname
Max

Nachname
Mustermann

Straße
Musterallee

Nr.
42

Postleitzahl
44141

Stadt
Dortmund

E-Mail
max.mustermann@example.com

5 / 5

Zurück **Weiter**

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

Abb. 4.3: Demoanwendung: Seite „Rechnungsadresse“. Eigener Screenshot

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 im Unterunterabschnitt 4.1.4.2 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.

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“. Eigener Screenshot

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 ist die E-Mail anzugeben und bei der Auswahl der Kreditkarte folgende Kreditkarteninformationen: Karteninhaber, Kartennummer, CVC sowie das Ablaufdatum. 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“. Eigener Screenshot

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.

Warenkorb — Rechnungsadresse — Lieferdaten — Zahlungsdaten — 5 Bestellung abschließen

Bestellübersicht

Warenkorb

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

Rechnungsadresse

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

Lieferadresse

Herr Peter Mustermann
Musterring 1337
44135 Dortmund

Zahlungsart

Bezahlung per Lastschrift

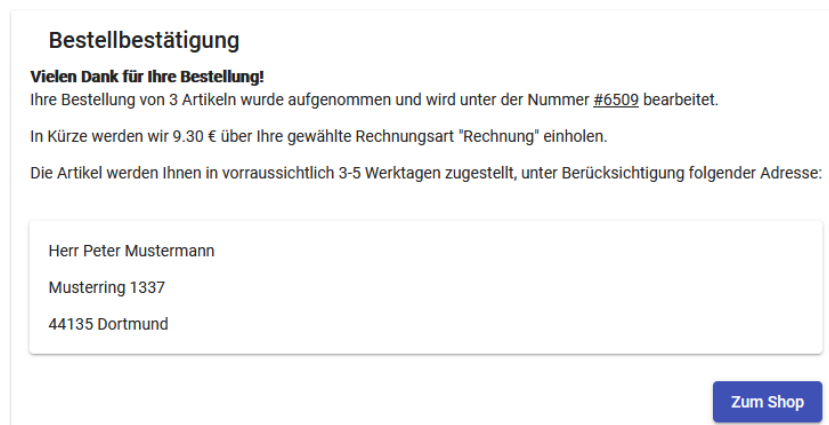
[Zurück](#)
[Kostenpflichtig bestellen](#)

Abb. 4.6: Demoanwendung: Seite „Bestellübersicht“. Eigener Screenshot

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.



Bestellbestätigung

Vielen Dank für Ihre Bestellung!

Ihre Bestellung von 3 Artikeln wurde aufgenommen und wird unter der Nummer [#6509](#) bearbeitet.

In Kürze werden wir 9.30 € über Ihre gewählte Rechnungsart "Rechnung" einholen.

Die Artikel werden Ihnen in voraussichtlich 3-5 Werktagen zugestellt, unter Berücksichtigung folgender Adresse:

Herr Peter Mustermann

Musterring 1337

44135 Dortmund

[Zum Shop](#)

Abb. 4.7: Demoanwendung: Finale Seite „Bestellbestätigung“. Eigener Screenshot

4.1.4 Fehlerszenarien

Um später mithilfe der Observability-Werkzeuge Probleme aufzudecken, besitzt die Demoanwendung einige bewusst eingebaute Implementierungen, welche problembehaftete sind. Diese sind in Zusammenarbeit mit den Stakeholdern konzipiert worden. 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 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.



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

Abb. 4.8: Fehlende Texte.
Eigener Screenshot

4.1.4.2 „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

4.1.4.3 „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.

4.1.5 Repräsentation

Es 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, werden die Anforderungen näher erläutert, die das zu erstellende Proof-of-Concept erfüllen soll.

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 [Kan68]

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 [SS97]

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.				

4 Erstellung Proof-of-Concept

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.				

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.				

4 Erstellung Proof-of-Concept

Id	Name	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle
2410	Metriken	Basis.	f.	S
Im Frontend sind beispielhaft Metriken zu erheben, wie z. B. die Anzahl an Produkten oder die Anzahl an aufgetretenen				

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 60s) vorzuhalten und in dieser Zeit sind wiederholt (min. 3 mal) 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 Schnittstellenaufruf) 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.				

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 Filterung erfolgt auf Basis der Eigenschaften der Logmeldung (bspw. des Log-Levels).				

4 Erstellung Proof-of-Concept

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.	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.	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

Anhand der Anforderungen und den zuvor in Abschnitt 3.2 recherchierten Technologien, gilt es nun ein Konzept zu erstellen wie die Demoanwendung zu erweitern ist. Dabei ist das Grundziel die Nachvollziehbarkeit dieser Anwendung zu erhöhen. In den Anforderungen werden 4 Arten von Daten genannt, die es zu erheben und zu nutzen gilt. Darunter die 3 „Grundpfeiler der Observability“ Logs, Metriken und Traces sowie die gesondert zu betrachtende Methodik des Session-Replays.

In Unterabschnitt 3.2.6 wurden kriteriengeleitet bereits Technologien identifiziert, mit denen eine verbesserte Nachvollziehbarkeit erreicht werden kann: Splunk, Sentry, Jaeger sowie LogRocket (vgl. Tabelle 4.5). Bei dieser Übersicht ist zu betrachten, dass

Splunk die grundsätzlichen Funktionalitäten von Sentry abdecken kann. Andere Werkzeuge des Error-Monitorings weisen die gleiche Überschneidung auf. Lediglich das Issue-Management, welches in diesen Technologien oft ein fester Bestandteil ist, kann nicht allein mit Splunk abgebildet werden - diese Funktionalität ist aber für die in dieser Arbeit verfolgten Ziele nicht relevant. Weiterhin gehören Bug-Tracking-Systeme bereits unabdingbar zu einem Softwareprojekt [SC05], ein weiteres ähnlich agierendes System könnte hierbei eine Dopplung darstellen und somit unerwünscht sein. Aus diesem Grund soll auf Sentry verzichtet werden, dies geht zudem mit der Anforderung 3100 einher, welche eine geringe Anzahl an zusätzlichen Partnersystemen vorsieht.

Technologie	IM	ASM	RUM	Error-Monitoring	Log-Mgmt.	Tracing	Session-Replay
Splunk	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja(*)	ja		
Jaeger						ja	
Sentry			ja(*)	ja			
LogRocket			ja	ja			ja

Tab. 4.5: Übersicht der ausgewählten Technologien

Weitere Abdeckungen einer Technologie durch eine andere lassen sich jedoch nicht feststellen, Splunk, Jaeger sowie LogRocket besitzen jeweils Kernfunktionalitäten, die nicht durch andere Werkzeuge abbildbar sind. Splunk ist allen voran ein Log-Management-System und in dieser Funktion mit den anderen Technologien nicht ersetzbar. Jaeger besitzt mit Distributed-Tracing und LogRocket mit dem Session-Replay in Videoform ebenso Kernfunktionalitäten, die nicht mit anderen Werkzeugen abbildbar sind. Aus diesem Grund, soll die Erweiterung auf Basis dieser 3 Technologien erfolgen.

Genauer sollen, wie in Abbildung 4.9 visualisiert, aus dem Frontend und den Backend-Diensten Tracedaten erhoben werden und an Jaeger übermittelt werden. Darüber hinaus sind im Frontend Logs, Fehler und Metriken zu erheben und an Splunk zu senden, dabei sind nach Anforderungen Anforderung 5220 und Anforderung 5410 Fehler und Metriken visuell aufzubereiten. Zudem sollen über die von LogRocket bereitgestellte JavaScript-Bibliothek die Daten zum Session-Replay erfasst werden und an LogRocket gemeldet werden, jedoch nur wenn der Nutzer zuvor zustimmt (vgl. Anforderung 2511). Splunk und Jaeger sollen zudem lokal, also OnPremise, aufgesetzt werden. LogRocket hingegen bietet dies nur für Unternehmenskunden an und wird somit als SaaS-Produkt zum Einsatz kommen.

Auf dieser Basis erfolgt im nächsten Abschnitt die Implementierung der Erweiterung sowie die Umsetzung des Konzeptes. Hierbei werden die notwendigen Schritte technisch erläutert, eine nicht technische Übersicht erfolgt hingegen in Abschnitt 5.1.

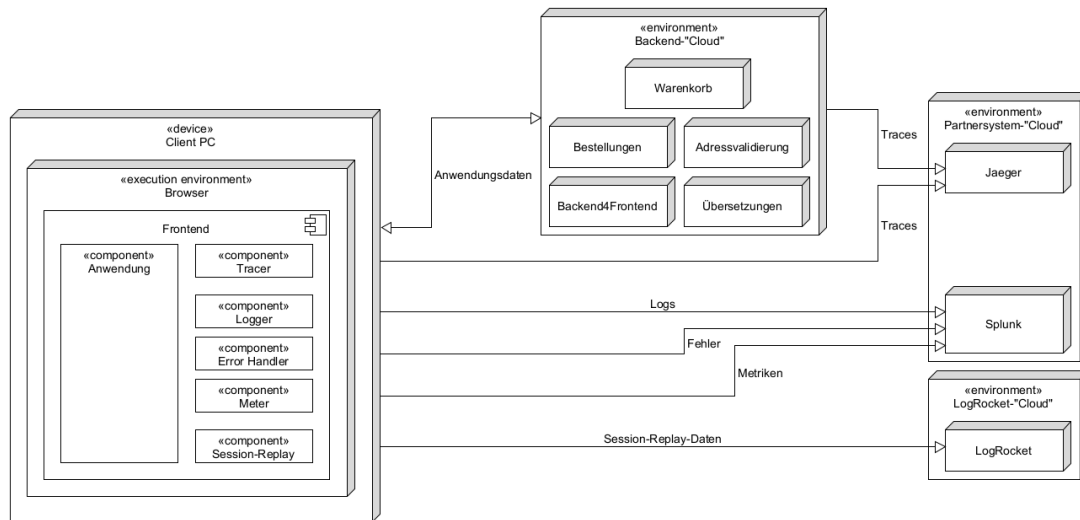


Abb. 4.9: Architektur des Konzeptes. Eigene Darstellung

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     /* Berechnung zur Bestellung */
14
15     return new Receipt(/* Belegdaten */);
16 }
17 }

```

Quellcode 4.6: Beispielhafter Einsatz der @Traced-Annotation

In Jaeger erzeugt der o. g. Quellcode die in Abbildung 4.10 zu sehenden Spans. Neben den Traces werden keine weiteren Daten von Backend-Komponenten erhoben, da das 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.

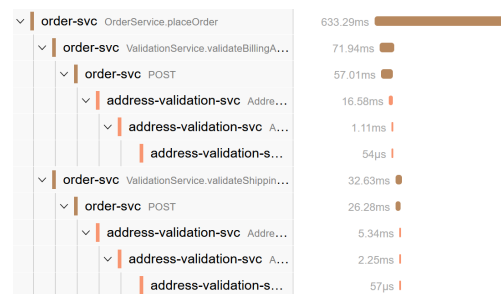


Abb. 4.10: Ausschnitt des Traces zu Quellcode 4.6

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 folgenden 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. Wie der Span weiterverwendet wird, ist im nächsten Absatz beschrieben.

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

Quellcode 4.8: Datenquelle zum Abrufen und Zusammenführen der Artikeldaten

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

```

1 @Injectable({ providedIn: 'root' })
2 export class LocalizationService {
3   constructor(
4     private log: NGXLogger,
5     private http: HttpClient,
6     private tracer: Tracer,
7     private traceUtil: TraceUtilService,
8     private requestCounter: CounterMetric
9   ) {}
10
11   public getTranslations(parentSpan?: api.Span) {
12     this.log.info('getTranslations(): requesting translations');
13
14     // Starte einen neuen Span mit Elternreferenz
15     const span = this.traceUtil.startChildSpan(
16       this.tracer, 'LocalizationService.getTranslations', parentSpan,
17       { 'shoppingCartId': window.customer.shoppingCartId }
18     );
19
20     // Generiere aus OTel span einen Jaeger-kompatiblen HTTP-Header
21     const jaegerTraceHeader = this.traceUtil.
      serializeSpanContextToJaegerHeader(span.context());
22
23     // Erhöhe die "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           // Protokolliere Fehler
39           span.recordException({ code: err.status, name: err.name,
      message: err.message });
40           span.end();
41         }
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 umwandelt 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`

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>

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

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. Die Funktionsweise der Weiterleitung wird an späterer Stelle genauer beschrieben.

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

Quellcode 4.11: Implementierung des `NGXLoggerMonitor`-Interfaces

4.4.2.4 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                 // vgl. 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 Weiterleitung an Splunk

Wie zuvor beschrieben werden Logs, Metriken und Fehler über den `SplunkForwardingService` an Splunk gesendet. Damit nicht jedes Datenobjekt einen Aufruf auslöst, gruppiert dieser die eintreffenden Daten zuvor.

Wie in Quellcode 4.13 zu sehen ist, wird alle 5s geprüft, ob Daten zur Weiterleitung zur Verfügung stehen. Ebenso ist zu sehen, dass beim Fehlschlag des Sendens eines Batches, 5 Wiederholversuche gestartet werden mit einer Wartezeit von 15s. Die grundlegende Funktionalität dessen wurde mit RxJS [Goo21b] umgesetzt, einer Kernbibliothek von Angular, die Reactive Programming [SF16] in JavaScript erlaubt. Weiterhin werden die Daten an Splunk nicht im Textformat übertragen, sondern direkt in JSON. Die JSON-Objekte werden dann automatisch von Splunk interpretiert und die enthaltenen Felder werden zugreifbar gemacht. Durch das gewählte Format [TVNP13] ist auch die Anforderung 3200 zum Structured-Loggings erfüllt. Ausgesuchte Logmeldungen und Fehler, so wie sie an Splunk übertragen wurden, sind in Quellcode 4.14 zu betrachten.

```
1 export class SplunkForwardingService {
2   private batchQueue: SplunkEntry[] = [];
3
4   constructor(private http: HttpClient) {
5     // Prüfe alle 5s ob Daten zum Weiterleiten existieren
6     interval(5000)
7       .subscribe(() => {
8         const batch = this.batchQueue;
9
10        this.batchQueue = [];
11
12        this.sendBatch(batch)
13          .pipe(
14            // 5 Versuche mit einer Wartezeit von jeweils 15s
15            retryWhen(errors => errors.pipe(delay(15000), take(5)))
16          )
17          .subscribe();
18      });
19  }
20
21  public forwardEvents(entries: SplunkEntry[]): void {
22    for(const entry of entries) {
23      // Füge Kontextinformationen hinzu
24      entry.event.path = window.location.href;
25      entry.event.shoppingCartId = window.customer.shoppingCartId;
26
27      this.batchQueue.push(entry);
28    }
29  }
30
31  private sendBatch(batch: SplunkEntry[]): Observable<void> {
32    return this.http.post<void>(this.logBatchServiceUrl, batch);
33  }
34 }
```

Quellcode 4.13: Implementierung des **SplunkForwardingService**


```
1 [
2   {
3     "event": {
4       "message": "submit()",
5       "path": "http://localhost:4200/checkout",
6       "severity": 2,
7       "shoppingCartId": "f7db5e54-ec9a-9161-ff27-2468b1f41f54",
8       "timestamp": "2021-03-05T17:56:54.548Z"
9     },
10    "sourcetype": "log"
11  }, {
12    "event": {
13      "message": "order(): placing order, data = ",
14      "param0": "{\\"shoppingCartId\\":\\"f7db5e54-ec9a-9161-ff27-2468b1f41f54\\",...}",
15      "path": "http://localhost:4200/checkout",
16      "severity": 2,
17      "shoppingCartId": "f7db5e54-ec9a-9161-ff27-2468b1f41f54",
18      "timestamp": "2021-03-05T17:56:54.553Z"
19    },
20    "sourcetype": "log"
21  }, {
22    "event": {
23      "component": "OrderService",
24      "description": "Anfrage zum Bestelldienst war nicht erfolgreich, Fehler = HTTP 400 Bad Request",
25      "environment": "development",
26      "frontendModel": {
27      },
28      "message": "Http failure response for http://localhost:53246/data/order: 502 Bad Gateway",
29      "name": "HttpErrorResponse",
30      "path": "http://localhost:4200/checkout",
31      "shoppingCartId": "f7db5e54-ec9a-9161-ff27-2468b1f41f54"
32    },
33    "sourcetype": "error"
34  }, {
35    "event": {
36      "logRocketSessionURL": "n/a",
37      "param0": "{\\"name\\":\\"HttpErrorResponse\\",\\"message\\":...}",
38      "path": "http://localhost:4200/checkout",
39      "severity": 4,
40      "shoppingCartId": "f7db5e54-ec9a-9161-ff27-2468b1f41f54",
41      "timestamp": "2021-03-05T17:56:54.765Z"
42    },
43    "sourcetype": "log"
44  },
45 ]
```

Quellcode 4.14: Beispiel eines Batches

4.4.2.6 Session-Replay

LogRocket wird erst aktiviert, 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 4.11), wird ein Einverständnis-Dialog geöffnet. Hierbei (vgl. Abbildung 4.12) 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 4.15 sowie Quellcode 4.16 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.

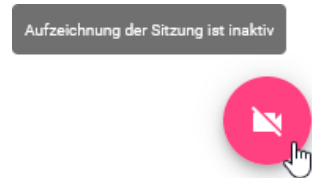


Abb. 4.11: Button zum Öffnen des Dialogs

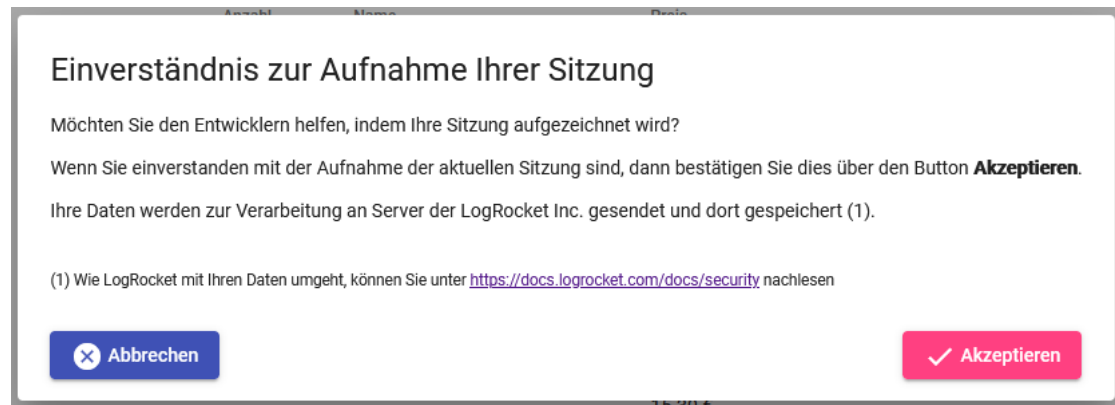


Abb. 4.12: Einverständnis-Dialog

```

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 4.15: 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    // Initialisiere die Aufnahme mit LogRocket
13    LogRocket.init(this.config.logRocketAppId, {});
14
15    // Starte eine neue Sitzung
16    LogRocket.startNewSession();
17
18    // Stelle die LogRocket sessionURL bereit
19    LogRocket.getSessionURL((sessionURL) => {
20      window.logrocketData.sessionURL = sessionURL;
21
22      this.dialogRef.close(sessionURL);
23    });
24  }
25 }
```

Quellcode 4.16: Initialisierung von LogRocket in der Einverständnis-Komponente

4.4.3 Architektur

Abschließend lässt sich somit folgende, in Abbildung 4.13 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) verläuft ohne Weiterleitung und mit einem proprietärer Protokoll auf Basis von gRPC [Log20].

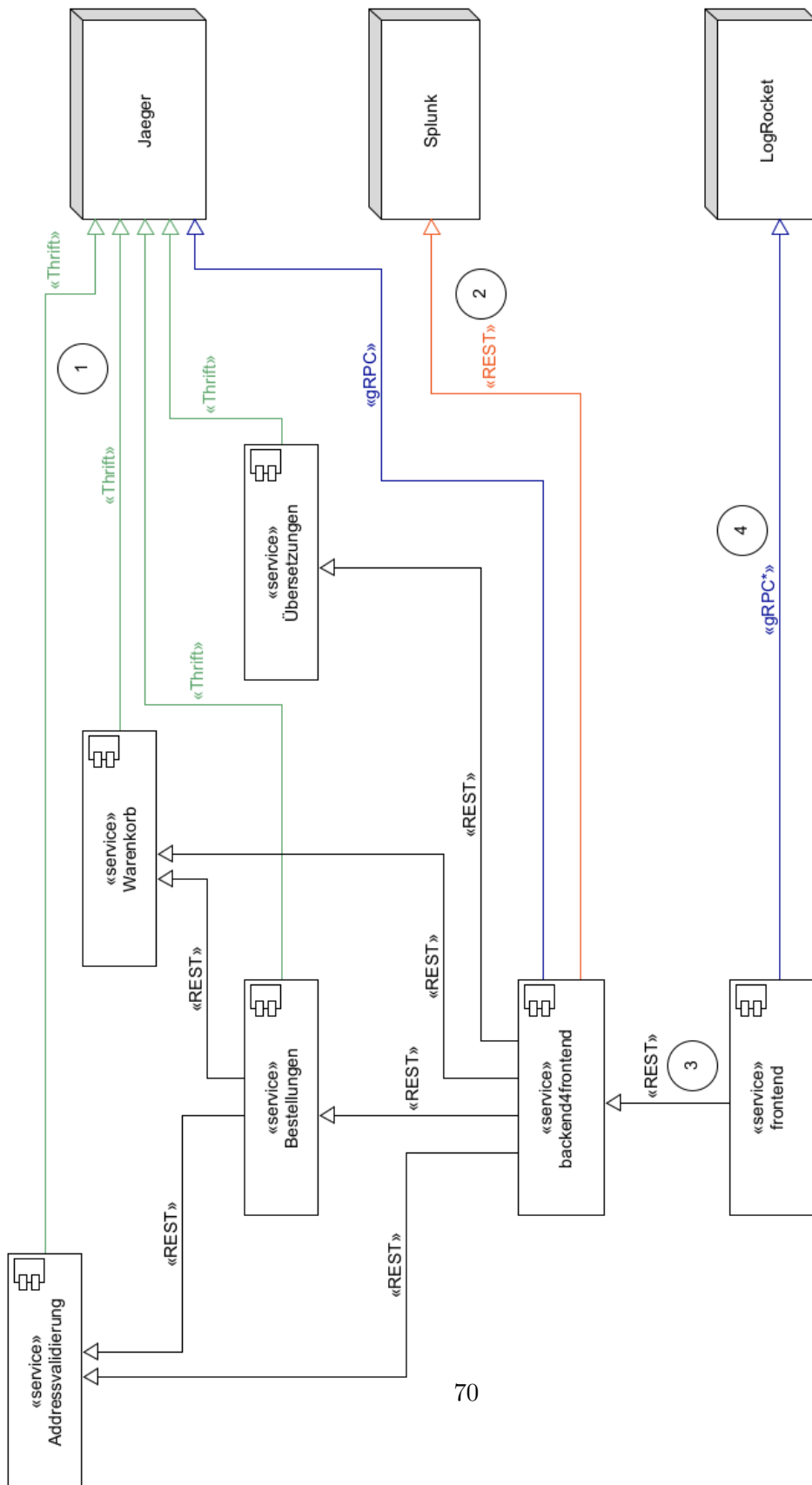


Abb. 4.13: Architektur des Proof-of-Concepts. Eigene Darstellung

5 Ergebnis

5.1 Demonstration

Da die Implementierung nun erfolgt und beschrieben ist, wird nun beispielhaft der Nutzen dessen vorgestellt. Auf Basis der eingebauten Fehlerszenarien in der Demoanwendung soll der Mehrwert der erstellten Lösung evaluiert werden. Folgend wird näher beleuchtet, wie die drei Fehlerszenarien aufgedeckt werden können.

5.1.1 Aufdecken des Szenarios „Keine Übersetzungen“

In diesem Fehlerszenario sind für den Nutzer in der Webanwendung die Übersetzungsschlüssel zu sehen, statt der tatsächlichen Produktnamen (vgl. Unterunterabschnitt 4.1.4.1). Da es sich hierbei um einen Fallback handelt, wurde in der Webanwendung darauf verzichtet einen Fehler zu werfen. Dieser würde in Splunk hervorgehoben werden. Jedoch lassen sich in Splunk die Logdaten durchsuchen und so Sitzungen herausfinden, bei denen dieses Problem aufgetreten ist (vgl. Abbildung 5.1). Darauf basierend konnten verwandte Logs der selben „Sitzung“ inspiziert werden, jedoch konnte anhand dessen das Fehlverhalten nicht weiter nachvollzogen werden. Jedoch bietet die nun gefundene `shoppingCartId` die Möglichkeit, damit in weiteren Systemen nachzuforschen.

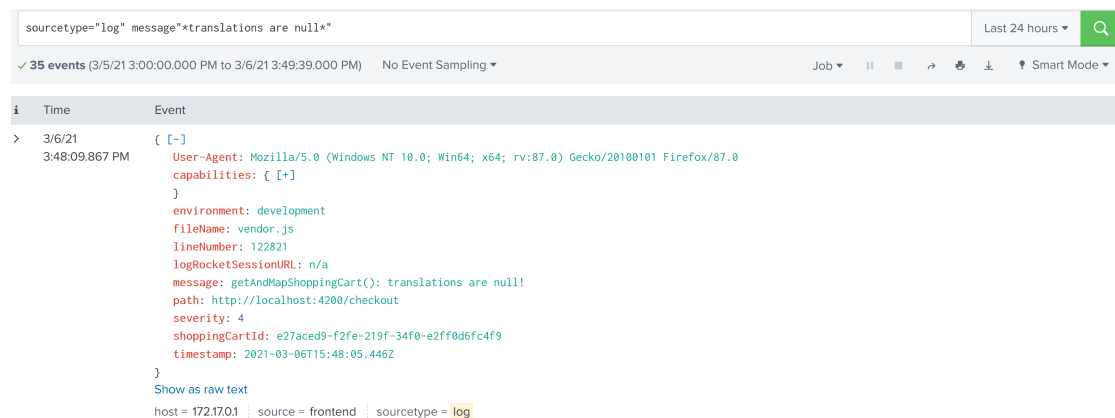


Abb. 5.1: Suche nach Logs zu fehlenden Übersetzungen in Splunk

In Jaeger lassen sich anhand der **shopping-CartId** Traces finden (vgl. Abbildung 5.2). Einer dieser Traces ist mit einem Fehler markiert und entsprang der Funktion **getAndMapShoppingCart** im Frontend. Dabei handelt es sich um eine Funktion, die die Warenkorb- sowie Übersetzungsdaten abrufen und diese zusammenführt.

Bei Klick auf den Trace erhält man Einsicht in das entsprechende Trace-Gantt-Diagramm (vgl. Abbildung 5.3). Bei dem Aufruf ist im Übersetzungsdienst ein Fehler aufgetreten, welcher vermutlich die fehlenden Übersetzungen verursachte. Weiterhin wurde ein Log im Span hinterlegt, welches die genaue Ursache beschreibt: **configuration is invalid**. Zudem ist auch der genaue Kubernetes-Pod (**localization-svc-003**) zu sehen, der die Abfrage durchführte. Somit sind dem problemlösenden Entwickler viele notwendige Informationen geboten, die ihm dabei helfen das Problem zu lösen.

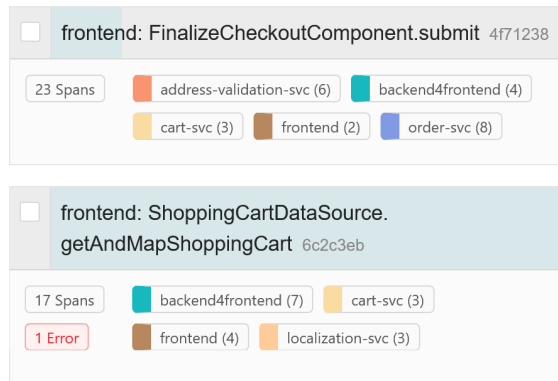


Abb. 5.2: Suchergebnisse in Jaeger zu spezieller **shoppingCartId**

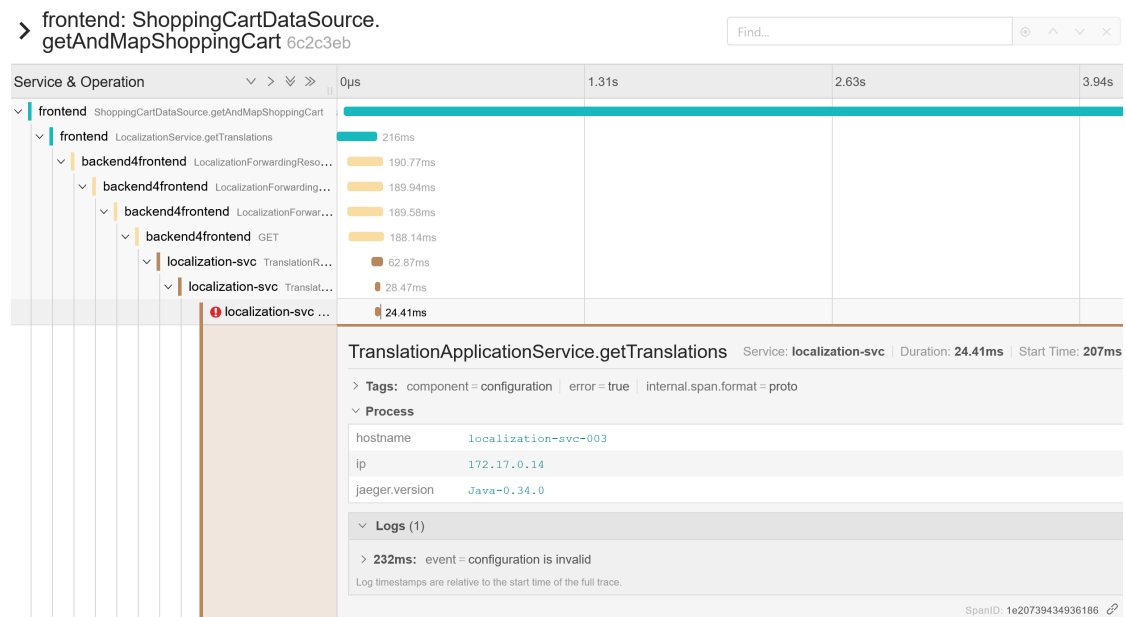


Abb. 5.3: Ausschnitt des Traces zur Übersetzungsanfrage in Jaeger

5.1.2 Aufdecken des Szenarios „Ungültige Adressen sind gültig“

Das Backend bietet die Möglichkeit, dass die SPA eingegebene Adresse zuvor validiert. Bei der Rechnungs- sowie der Lieferadresse sollte dies auch der Fall sein. Jedoch kommt es dazu, dass Nutzer ungültige Adresse angeben können und dies bei der Aufgabe einer Bestellung zu einem Fehler führt (vgl. Unterunterabschnitt 4.1.4.2). Durch die Suche in Splunk nach Logmeldungen der Angular-Komponente `FinalizeCheckoutComponent` findet sich eine Fehlermeldung und eine entsprechende `shoppingCartId`.

Bis auf die Fehlermeldung liefert Splunk jedoch nicht sprechende Informationen, deshalb wird erneut auf Jaeger zurückgegriffen. In Jaeger findet ein entsprechender Trace (vgl. Abbildung 5.4), der über die Situation Aufschluss gibt. Es ist dabei zu erkennen, dass im Bestelldienst beide Adressen erneut validiert werden und dabei die Anfrage bzgl. der Lieferadresse fehlschlägt. Auf Basis dieser Informationen kann nun der Entwickler feststellen, dass in der SPA keine Validierung für die Lieferadresse durchgeführt wird.

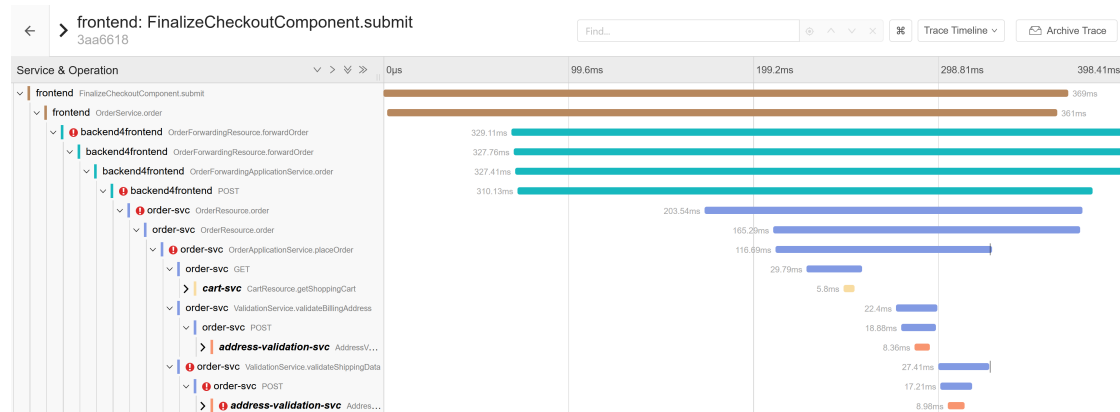


Abb. 5.4: Ausschnitt des Traces zur Bestellanfrage in Jaeger

5.1.3 Aufdecken des Szenarios „Lange Verarbeitung“

In diesem Szenario kommt es bei der Anzeige des Warenkorbes zu einer starken Verzögerung, bis dieser sichtbar ist (vgl. Unterunterabschnitt 4.1.4.3). Hierbei ist Splunk wenig hilfreich, da eine zeitliche Abfolge alleine durch Logs schwer nachvollziehbar ist. Durch LogRocket ist das resultierende Verhalten gut nachvollzuziehen und ein Video dessen ist im Anhang vorzufinden (siehe Unterabschnitt 7.2.1).

Hierbei hilft erneut Jaeger, denn durch Traces lassen sich nicht nur hierarchische Beziehungen nachvollziehen, sondern auch zeitliche. Eine Trace-Gantt-Visualisierung eines Traces, bei dem der Warenkorb abgerufen wird, ist in Abbildung 5.5 zu betrachten. Dabei

sticht hervor, dass der überwiegende Anteil der Zeit nicht in den Backendanfragen verloren geht, sondern durch die Operation `mapShoppingCart` im Frontend. Anhand dieser Informationen kann ein Entwickler nun hergehen und diese Operation verbessern.

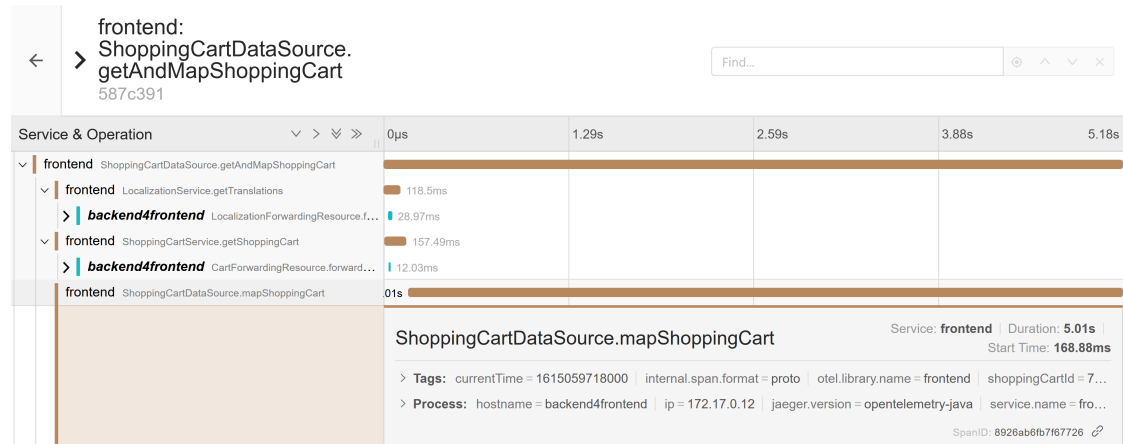


Abb. 5.5: Ausschnitt des Traces zur Warenkorbanfrage in Jaeger

5.2 Bewertung der Anforderungen

Vor der Erstellung des Konzeptes und der eigentlichen Implementierung wurden dafür Anforderungen definiert. Diese sollen nun überprüft werden, ob und in welchem Umfang sie umgesetzt wurden. Dafür werden die Anforderungen tabellarisch und in kurzer Form dargestellt. Um den Grad der Erfüllung zu beschreiben, existiert zudem die Spalte *Erfüllungsgrad*. Dabei handelt es sich um einen Prozentwert von 0%–100%, wobei 0% keine Umsetzung der Anforderung bedeutet und 100% eine vollständige. Werte die dazwischen liegen werden nachgehend genauer erläutert, da hierfür keine allgemeine Beschreibung gewählt werden kann.

Id	Titel	Kano-Modell	Funktionsart	Quelle	Erfüllungsgrad
Funktionsumfang					
2110	Schnittstellen-Logging	Basis.	f.	S	100%
2111	Use-Case-Logging	Basis.	f.	S	100%
2120	Übertragung von Logs	Basis.	f.	S	100%
2210	Error-Monitoring	Basis.	f.	S	100%
2220	Übertragung von Fehlern	Basis.	f.	S	100%
2310	Tracing	Basis.	f.	S	100%

Id	Titel	Kano-Modell	Funktions-art	Quelle	Erfüllungs-grad
2311	Tracing-Standard	Leistungs.	n. f.	A	100%
2320	Übertragung von Tracingdaten	Basis.	f.	S	100%
2410	Metriken	Basis.	f.	S	100%
2411	Metrik-Standard	Begeist.	n. f.	A	100%
2420	Übertragung von Metrikdaten	Basis.	f.	S	100%
2510	Session-Replay	Basis.	f.	S	100%
2511	Schalter für Session-Replay	Basis.	f.	A	100%
2520	Übertragung von Session-Replay-Daten	Basis.	f.	S	100%
Eigenschaften					
3010	Resilienz der Übertragung	Begeist.	f.	S	75%
3020	Batchverarbeitung	Begeist.	f.	S	100%
3100	Anzahl Partnersysteme	Basis.	n. f.	K	66%
3200	Structured Logging	Leistungs.	f.	A+S	100%
Partnersysteme					
5100	Partnersystem <i>Log-Management</i>	Basis.	f.	A+S	100%
5110	Manuelle Analyse <i>Log-Management</i>	Basis.	f.	A+S	100%
5200	Partnersystem <i>Error-Monitoring</i>	Basis.	f.	A+S	100%
5210	Manuelle Analyse <i>Error-Monitoring</i>	Basis.	f.	A+S	100%
5220	Visualisierung <i>Error-Monitoring</i>	Leistungs.	f.	S	100%
5230	Alerting <i>Error-Monitoring</i>	Begeist.	f.	A+S	0%
5300	Partnersystem <i>Tracing</i>	Basis.	f.	A+S	100%
5310	Manuelle Analyse <i>Tracing</i>	Basis.	f.	A+S	100%
5320	Visualisierung <i>Tracing</i>	Basis.	f.	A+S	100%
5400	Partnersystem <i>Metriken</i>	Leistungs.	f.	A+S	100%
5410	Visualisierung <i>Metriken</i>	Leistungs.	f.	A+S	100%
5420	Alerting <i>Metriken</i>	Begeist.	f.	S	0%
5500	Partnersystem <i>Session-Replay</i>	Basis.	f.	A+S	100%
5510	Nachstellung <i>Session-Replay</i>	Basis.	f.	A+S	100%

Tab. 5.1: Tabellarische Bewertung der Anforderungen

Die Anforderung 3010 wurde nicht vollständig erfüllt, da nicht alle Daten, die der Nachvollziehbarkeit dienen, resilient erfasst und übertragen werden. Genauer werden Logs, Metriken und Fehler so behandelt - jedoch nicht Traces. Grund hierfür ist, dass durch den Einsatz von OpenTelemetry-Komponenten dies nicht oder nicht einfach möglich war. Da somit 3 von 4 Datentypen eine Resilienz aufweisen, wurde die Anforderung mit einem Erfüllungsgrad von 75% bewertet.

Die Anzahl der Systeme gering zu halten, also Anforderung 3100, konnte nicht vollständig umgesetzt werden. Grund hierfür ist, dass zwar auf ein weiteres System zum Error-Monitoring verzichtet werden konnte, aber dennoch 3 zusätzliche Partnersysteme notwendig sind. Somit wurde diese Anforderung als teilweise erfüllt bewertet.

Die Anforderungen 5230 und 5420 wurden nicht erfüllt, da kein Alerting mithilfe von Splunk umgesetzt wurde. Grund hierfür war eine Netzwerkeinschränkung von dem Kubernetescluster, die es nicht einfach möglich machte Daten von Splunk aktiv nach außen zu senden. Dadurch dass es sich um zwei Begeisterungsmerkmale handelte, wurde ein Fehlen dessen akzeptiert.

5.3 Übertragbarkeit

Neben der Erfüllung von gestellten Anforderungen sowie der Aufdeckung von Fehlerszenarien, sollte der Proof-of-Concept sowie das zugrundeliegende Konzept eine Übertragbarkeit aufweisen. Übertragbarkeit meint hierbei, ob und wie gut sich die ermittelten Ergebnisse auf andere Projekte übertragen lassen.

Zunächst wurde eine Demoanwendung erstellt, anhand dessen die Entwicklung des Konzeptes und der eigentlichen Implementierung erfolgten. Bei dieser Demoanwendung handelt es sich hauptsächlich um eine Rich-Internet-Application, die mit Angular umgesetzt wurde und eine Microservice-orientierte Architektur im Backend nutzt. Setzen Aspekte der erstellten Lösung auf diese Randbedingungen, schränken sie die Übertragbarkeit auf andere Systeme ein.

Das Konzept wurde jedoch nicht starr an die Demoanwendung angelehnt, sondern basiert grundlegend auf den zuvor identifizierten fehlenden Informationen bei RIAs und den ermittelten Technologien, um diese Informationslücke zu füllen. Anders ist dies jedoch bei der Umsetzung, denn hier wurden einige Aspekte auf Basis der eingesetzten Frameworks umgesetzt. Beispielsweise basiert das Tracing im Backend auf der Unterstützung von OpenTracing im Eclipse Microprofile Framework. Des Weiteren basiert die Erfassung von Logs und Fehlern im Frontend auf Angular spezifischen Bibliotheken oder Komponenten.

Eine direkte Bewertung der Übertragbarkeit erfolgt nicht, stattdessen werden die Annahmen erfasst. Die Erfassung der Annahmen erfolgt in Tabelle 5.2. Dabei wird jede Annahme jeweils für das Konzept sowie für die Umsetzung bewertet, dabei werden folgende Bewertungsschlüssel verwendet:

- **ja:** Die Annahme muss erfüllt sein.
- **nein:** Die Annahme muss nicht erfüllt sein.

- **nebensächlich:** Damit ist gemeint, dass die Annahme nicht erfüllt sein muss, jedoch dies bspw. zu einer Minderung der Funktionalität führt. Weiterhin kann hiermit auch gemeint sein, dass die Annahme durch einen äquivalenten Ersatz erfüllt werden kann.

Annahme	Konzept	Umsetzung
Das System kann erweitert werden	ja	ja
Das System kann erweitert werden	ja	ja
Das Frontend ist eine RIA	ja	ja
Das Frontend ist eine SPA	nein	ja
Das Frontend wurde mit Angular erstellt	nein	ja
Das Frontend realisiert einen Wizard	nein	nein
Das Backend folgt einem Microservice-Architektur-Ansatz	nebensächl.	ja
Das Backend wurde mit Java umgesetzt	nein	ja
Das Backend wurde mit Eclipse MicroProfile umgesetzt	nein	nebensächl.
Splunk kann eingesetzt werden	nebensächl.	ja
Jaeger kann eingesetzt werden	nebensächl.	ja
LogRocket kann eingesetzt werden	ja	ja

Tab. 5.2: Annahmen der erstellten Lösungen

5.4 Einfluss für den Nutzer

In diesem Abschnitt ist festzustellen, welchen Einfluss die Lösung für den Nutzer der jeweiligen Webanwendung besitzt. Dabei gilt es bspw. den Aspekt der Ladezeit sowie des erhöhten Datenaufkommens zu beleuchten.

Um die leistungsrelevanten Daten zu erheben, wurden das Frontend ohne die Lösung und mit der Lösung mithilfe des „Performance Analysis“-Werkzeugs im Firefox [MM21c] analysiert. Um den Aspekt der Ladezeit, also die Zeit bis die Anwendung für den Nutzer interaktiv wird, zu messen, wurde pauschal die Zeit bis zur ersten ausgehenden Datenabfrage gemessen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5.6 zu betrachten. Dabei wird erkennbar, dass die Lösung eine leicht erhöhte Ladezeit aufweist - zuvor lag die durchschn. Ladezeit bei 760ms und nun bei 1080ms.

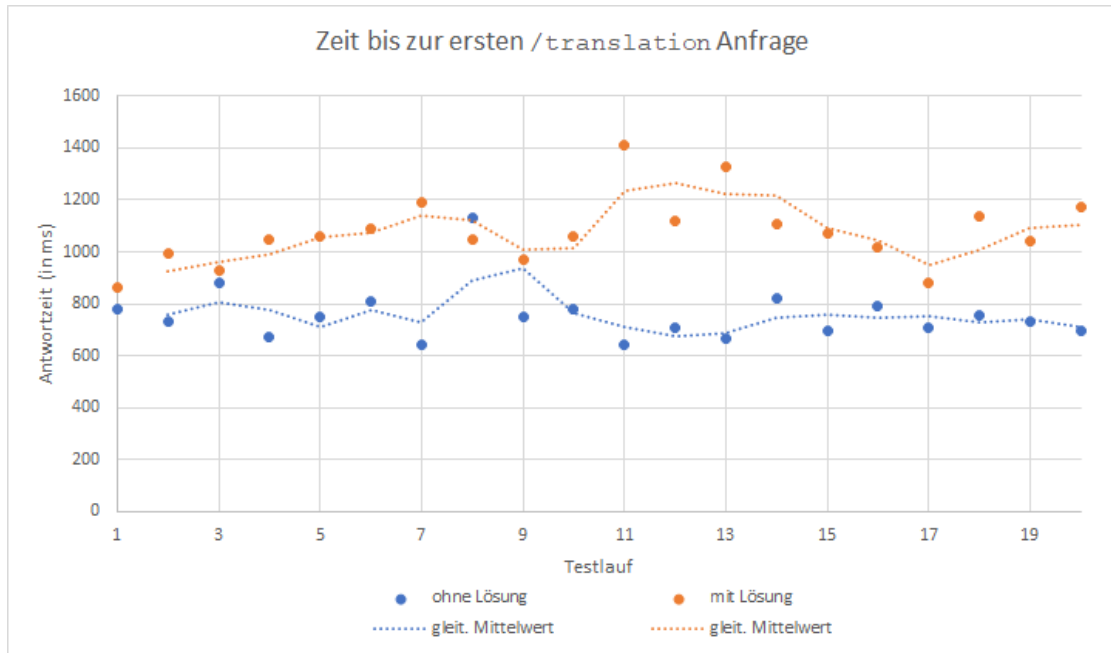


Abb. 5.6: Einfluss für den Nutzer: Zeit bis zur ersten Anfrage

Weiterhin wurde der Aspekt des erhöhten Datenaufkommens näher beleuchtet, indem pro Testlauf jeweils einmal ein Standard-Workflow in der Anwendung durchgespielt worden ist. Am Ende eines Durchlaufs wurde die Anzahl an tatsächlich¹ übertragenden XHR-Bytes notiert, das Resultat kann in Abbildung 5.7 betrachtet werden. Da der Nutzer selber entscheiden kann, ob LogRocket aktiviert sein soll oder nicht, wurde die Lösung einmal mit aktivierten LogRocket und einmal deaktivierten LogRocket getestet. Weiterhin wurde die Anzahl der Anfragen notiert, vgl. Abbildung 5.8.

Dabei lässt sich feststellen, dass das Datenaufkommen kaum erhöht ist. Grund hierfür ist, dass die zusätzlich gemeldeten Daten durch die automatisch durchgeführte Komprimierung² kaum zum Datenaufkommen beitragen. Jedoch kann in der Anzahl der Anfragen eine starke Erhöhung festgestellt werden. Der Einfluss auf die Ladezeit sowie die übertragenden Daten sind somit marginal und vernachlässigbar.

²Durch Komprimierung wie gzip sind die tatsächlich zu übertragenden Bytes geringer als die eigentliche Datenmenge [MM21b].

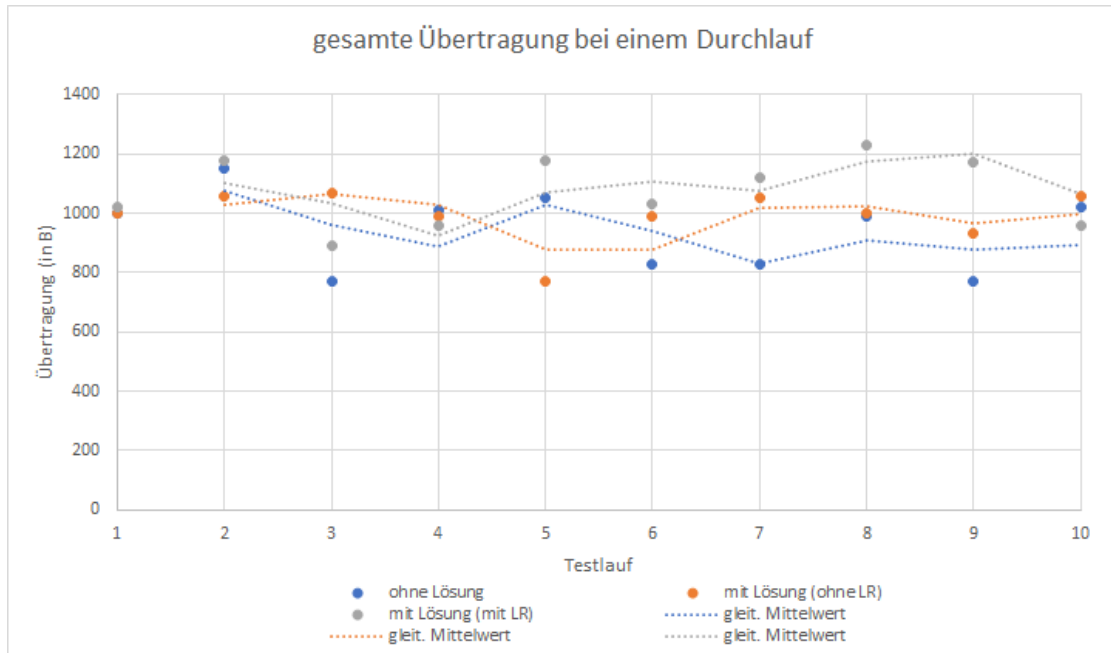


Abb. 5.7: Einfluss für den Nutzer: Gesamte Übertragungsmenge

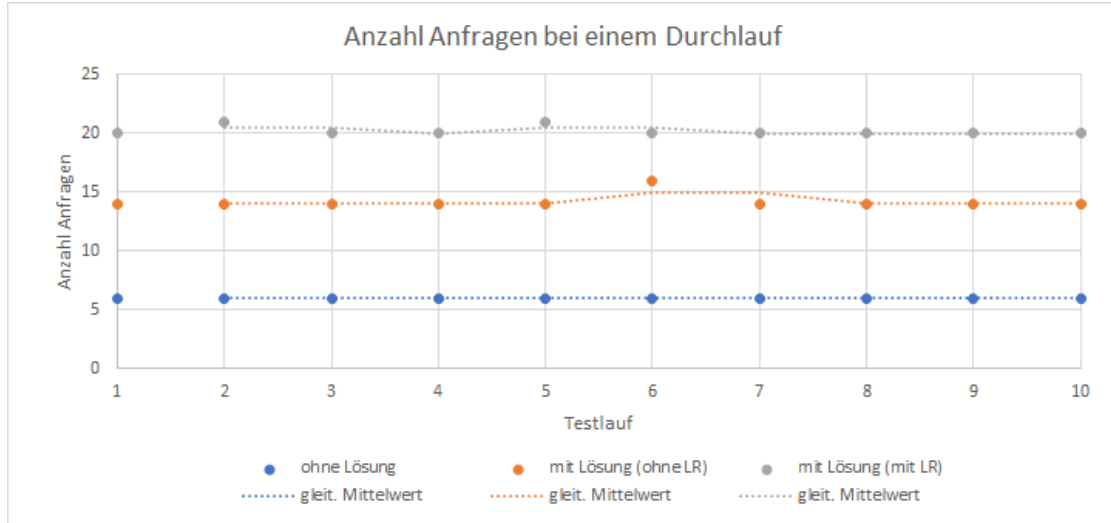


Abb. 5.8: Einfluss für den Nutzer: Anzahl der Anfragen

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 [Goo21c] 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

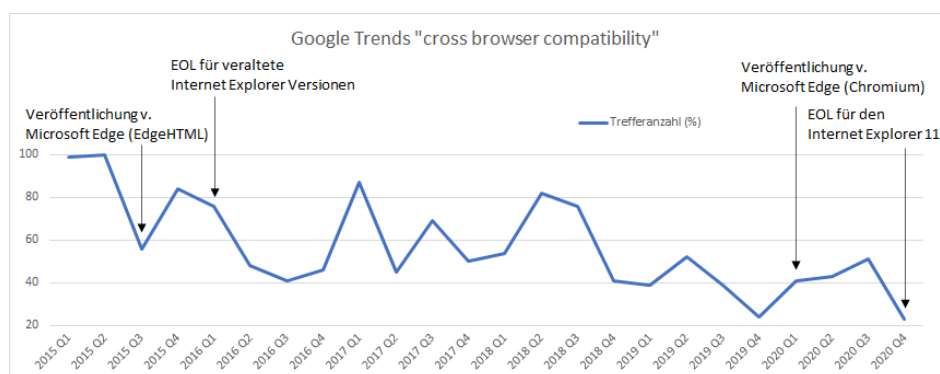


Abb. 7.1: Google Trends zur Browserkompatibilität, angereichert mit [Mic21]

7.2 Weitere Demonstration

7.2.1 LogRocket

Im Anhang befindet sich ein Video, welches die Aufnahme eines Session-Replays von LogRocket ist. Das eigentliche Session-Replay ist interaktiv und Daten wie der DOM, die Konsole und auch Netzwerkaufrufe können inspiziert werden.

7.2.2 Splunk

Neben Logs wurden in Splunk zudem auch Metriken und Fehler erhoben. Bei Metriken handelt es sich um beispielhafte Daten, die veranschaulichen und beweisen sollen, dass das Konzept funktioniert. Genauer wurden zwei wesentliche Metriken aufgezeichnet, einerseits die Anzahl an Produkten im Warenkorb und andererseits die aufgetretenen Fehler in einer Sitzung. Diese Metriken wurden auf einer Seite in Splunk visuell dargestellt, welche in Abbildung 7.2 zu sehen ist.

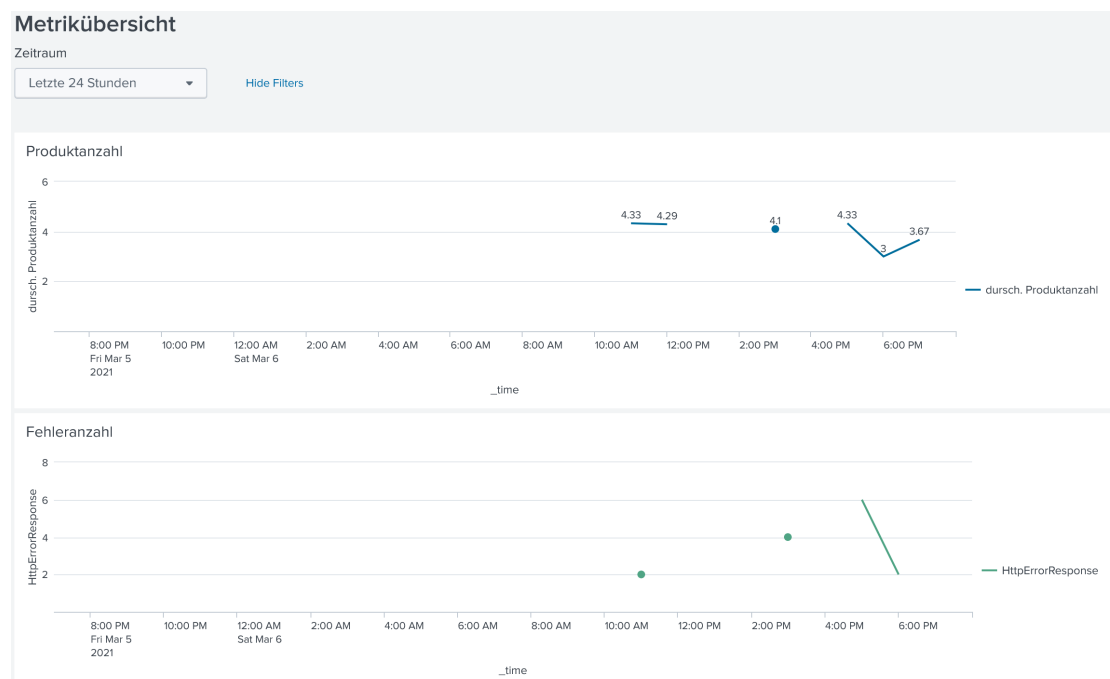


Abb. 7.2: Metrikübersicht in Splunk

Um speziell Fehler zu visualisieren und diese auch gruppiert darzustellen, wurde in Splunk eine Seite hierfür erstellt Abbildung 7.3. In der Fehlerübersicht lassen sich ein Histogramm, ein Top-Chart sowie die letzten 50 Events im Detail betrachten. Hierbei ließe sich bspw. ein erhöhtes Fehleraufkommen feststellen, das von der Norm abweicht.

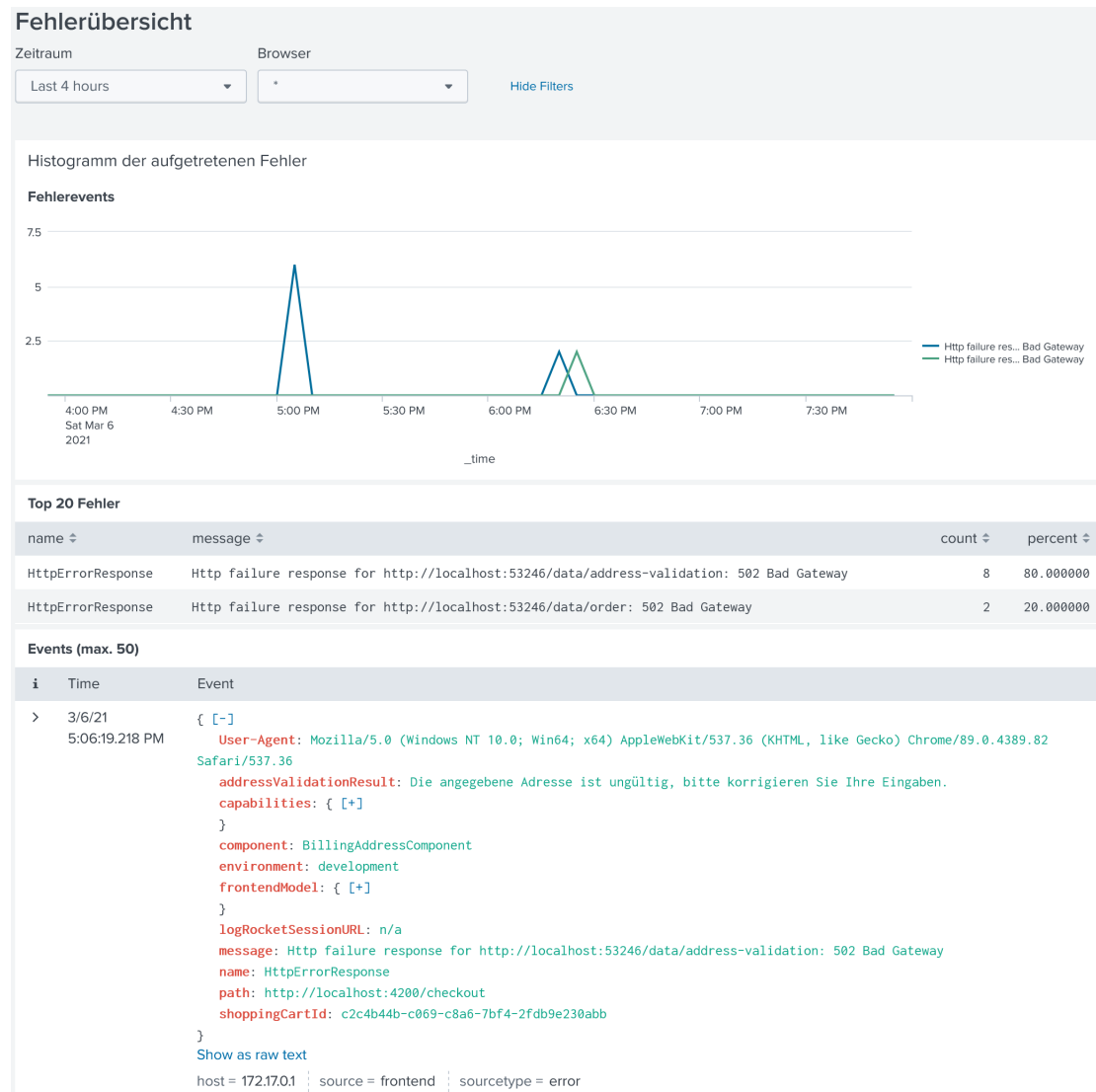


Abb. 7.3: Fehlerübersicht in Splunk

7.2.3 Jaeger

In Jaeger lassen sich neben dem Trace-Gantt-Diagramm auch Traces miteinander vergleichen, sodass Unterschiede in den Aufrufen entdeckt werden können. In den Abbildungen 7.4 und 7.5 ist ein solcher Vergleich zu sehen. Hierbei werden Traces verglichen, die durch eine Anfrage von Warenkorb- und Übersetzungsdaten von Frontend aus resultiert sind. Dabei divergieren die beiden Traces in der Antwort vom Übersetzungsdienst, denn es wird bei einem Trace dort ein Fehler geworfen.

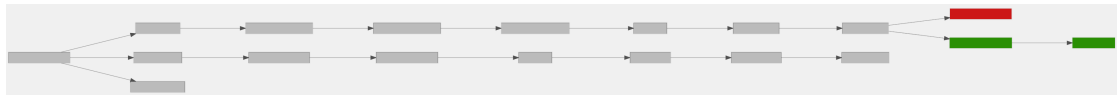


Abb. 7.4: Tracevergleich in Jaeger

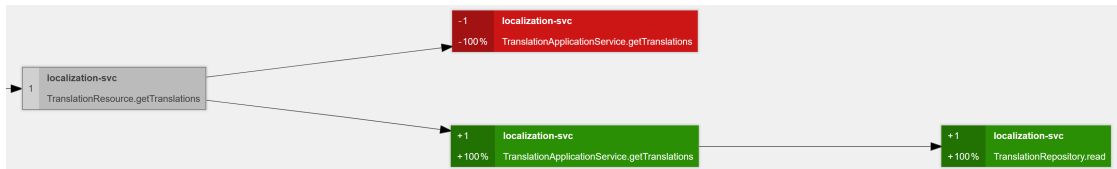


Abb. 7.5: Tracevergleich in Jaeger (Zoom)

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 aus [Spl21d]	31
3.9	Dienst-Abhängigkeits-Graph. Quelle: Eigene Darstellung	31
3.10	Trace-Detailansicht. Eigener Screenshot aus Jaeger	32
3.11	Kerninformation eines Issues. Eigener Screenshot aus Sentry	33
3.12	Userinteraktionen bei einer bestimmten Fehlerinstanz. Eigener Screenshot aus Sentry	34
3.13	Ausschnitt eines Session Replays. Eigener Screenshot aus LogRocket	35
4.1	Demoanwendung: Deployment-Diagramm. Eigene Darstellung	41
4.2	Demoanwendung: Startseite „Warenkorb“. Eigener Screenshot	42
4.3	Demoanwendung: Seite „Rechnungsadresse“. Eigener Screenshot	43
4.4	Demoanwendung: Seite „Lieferdaten“. Eigener Screenshot	44
4.5	Demoanwendung: Seite „Zahlungsdaten“. Eigener Screenshot	45
4.6	Demoanwendung: Seite „Bestellübersicht“. Eigener Screenshot	46
4.7	Demoanwendung: Finale Seite „Bestellbestätigung“. Eigener Screenshot	47
4.8	Fehlende Texte. Eigener Screenshot	48
4.9	Architektur des Konzeptes. Eigene Darstellung	58
4.10	Ausschnitt des Traces zu Quellcode 4.6	59
4.11	Button zum Öffnen des Dialogs	68
4.12	Einverständnis-Dialog	68
4.13		70
5.1	Suche nach Logs zu fehlenden Übersetzungen in Splunk	71
5.2	Suchergebnisse in Jaeger zu spezieller <code>shoppingCartId</code>	72

5.3	Ausschnitt des Traces zur Übersetzungsanfrage in Jaeger	72
5.4	Ausschnitt des Traces zur Bestellanfrage in Jaeger	73
5.5	Ausschnitt des Traces zur Warenkorbanfrage in Jaeger	74
5.6	Einfluss für den Nutzer: Zeit bis zur ersten Anfrage	78
5.7	Einfluss für den Nutzer: Gesamte Übertragungsmenge	79
5.8	Einfluss für den Nutzer: Anzahl der Anfragen	79
7.1	Google Trends zur Browserkompatibilität, angereichert mit [Mic21]	81
7.2	Metrikübersicht in Splunk	82
7.3	Fehlerübersicht in Splunk	83
7.4	Tracevergleich in Jaeger	84
7.5	Tracevergleich in Jaeger (Zoom)	84

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 [Kan68]	49
4.2	Kategorien der Anforderungen [SS97]	50
4.3	Quellen der Anforderungen	51
4.4	Beispiel einer Anforderung	51
4.5	Übersicht der ausgewählten Technologien	57
5.1	Tabellarische Bewertung der Anforderungen	75
5.2	Annahmen der erstellten Lösungen	77
7.1	Suchtreffer zu Studien über Browserkompatibilität	81

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	58
4.7	Quellcode des Moduls „app-observability.module.ts“	60
4.8	Datenquelle zum Abrufen und Zusammenführen der Artikeldaten	61

4.9	Service zum Abrufen der Übersetzungsdaten	62
4.10	Ausschnitt des Hauptmoduls <code>app.module.ts</code>	63
4.11	Implementierung des <code>NGXLoggerMonitor</code> -Interfaces	64
4.12	<code>ErrorHandler</code> zum Abfangen und Weiterleiten von aufgetretenen Fehlern .	65
4.13	Implementierung des <code>SplunkForwardingService</code>	66
4.14	Beispiel eines Batches	67
4.15	Angular HTML-Template der Einverständnis-Komponente	68
4.16	Initialisierung von <code>LogRocket</code> in der Einverständnis-Komponente	69

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: *Angular - The RxJS library*. <https://angular.io/guide/rx-library>, 2021. – [Online; abgerufen am 05.03.2021]
- [Goo21c] 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 07.03.2020]
- [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]
- [MM21a] MOZILLA ; MITWIRKENDE individuelle: *Ajax - Developer guides / MDN.* <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Guide/AJAX>, 2021. – [Online; abgerufen am 11.02.2021]
- [MM21b] MOZILLA ; MITWIRKENDE individuelle: *Content-Encoding - HTTP / MDN.* <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Headers/Content-Encoding>, 2021. – [Online; abgerufen am 07.03.2021]
- [MM21c] MOZILLA ; MITWIRKENDE individuelle: *Performance Analysis - Firefox Developer Tools / MDN.* https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Tools/Network_Monitor/Performance_Analysis, 2021. – [Online; abgerufen am 07.03.2021]
- [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 07.03.2021]
- [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/CyberSciTech)* 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
- [SC05] SERRANO, Nicolas ; CIORDIA, Ismael: Bugzilla, ITracker, and other bug trackers. In: *IEEE software* 22 (2005), Nr. 2, S. 11–13
- [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
- [SF16] SCHUSTER, Christopher ; FLANAGAN, Cormac: Reactive programming with reactive variables. In: *Companion Proceedings of the 15th International Conference on Modularity*, 2016, S. 29–33

- [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/UseTheseSearchLanguage>, 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-engineering: 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]