



**Westfälische
Hochschule**

University of Applied Sciences
Gelsenkirchen Bocholt Recklinghausen

Bachelorarbeit

Titel der Arbeit // Title of Thesis

**Konzeption und Entwicklung einer Continuous-Integration-Strategie
für Kundenprojekte auf Basis der Shopware-Plattform**

Akademischer Abschlussgrad: Grad, Fachrichtung (Abkürzung) // Degree

Bachelor of Science (B.Sc.)

Autorenname, Geburtsort // Name, Place of Birth

Frederik Bußmann, Coesfeld

Studiengang // Course of Study

Informatik.Softwaresysteme

Fachbereich // Department

Wirtschaft und Informationstechnik

Erstprüferin/Erstprüfer // First Examiner

Prof. Dr.-Ing. Martin Schulten

Zweitprüferin/Zweitprüfer // Second Examiner

Martin Knoop

Abgabedatum // Date of Submission

xx.xx.2023

Eidesstattliche Versicherung

Bußmann, Frederik

Name, Vorname // Name, First Name

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Abschlussarbeit mit dem Titel

Konzeption und Entwicklung einer Continuous-Integration-Strategie für Kundenprojekte auf Basis der Shopware-Plattform

selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erbracht habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Stadtlohn, den

Ort, Datum, Unterschrift // Place, Date, Signature

Abstract

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Unternehmensporträt der best it GmbH	1
1.2	Zielsetzung	1
1.3	Struktur der Arbeit	2
2	Fachlicher Hintergrund	3
2.1	Continuous Software Engineering	3
2.2	Begrifflichkeiten und Prinzipien von Continuous Integration	4
2.3	Übersicht über die Shopware-Plattform	6
3	Analyse und Konzept	9
3.1	Analyse der Ausgangssituation	9
3.2	Auswertung von CI/CD-Tools	10
3.3	Konzeption der CI-Strategie	17
4	Entwicklung der CI-Strategie	21
5	Evaluierung	22
6	Schlussfolgerungen und Ausblick	23
	Literaturverzeichnis	24

Abkürzungsverzeichnis

API	Application Programming Interface
CD	Continuous Deployment
CDE	Continuous Delivery
CI	Continuous Integration
CLI	Command-Line Interface
CMS	Content Management System
CSS	Cascading Style Sheets
DI	Dependency Injection
IDE	Integrated Development Environment
MS	Mutation Score
MSI	Mutation Score Indicator
NPM	Node Package Manager
ORM	Object-Relational Mapping
PHPCS	PHP Code Sniffer
PHPMD	PHP Mess Detector
PR	Pull Request
QA	Quality Assurance
VCS	Version Control System
YAML	YAML Ain't Markup Language

Abbildungsverzeichnis

1	Zusammenhang zwischen CI, CDE und CD	4
2	Visualisierung der Shopware-Architektur	8
3	Umgebung und Abhängigkeiten der Shopware-Plattform	9
4	Verzeichnis-Struktur eines Shopware-Projekts	17
5	Geplante Verzeichnis-Struktur der CI-Strategie	18
6	Visualisierung der konzipierten CI-Pipeline	19
7	Visualisierung der Architektur der konzipierten CI-Strategie	20

1 Einleitung

Im Rahmen dieser Arbeit werden verschiedene Aspekte betrachtet, um ein Konzept für das Einbinden von Continuous Integration (CI) in Shopware-basierten Projekten zu erarbeiten. Shopware ist eine E-Commerce-Plattform und eine der meistgenutzten Online-Shop-Lösungen in Deutschland¹, welche es Unternehmen ermöglicht, ihre Präsenz im digitalen Markt auszubauen. Das Unternehmen best it GmbH hat für seine Kunden einige Shopware-Projekte im Einsatz, für welche im Nachfolgenden eine CI-Strategie zur automatisierten Prüfung und Auslieferung der entwickelten Software erstellt werden soll.

1.1 Unternehmensporträt der best it GmbH

Die best it GmbH ist eine Digitalagentur, die im Jahr 2000 von Manuel Strotmann gegründet wurde und sich auf die Entwicklung von E-Commerce-Lösungen spezialisiert hat. Die Firma ist in verschiedenen Bereichen des Online-Handels tätig und realisiert für ihre Kunden eine Vielzahl von Shopware-Projekten. Neben der Konzeption und Entwicklung von Online-Shops bietet das Unternehmen auch Design- und Beratungsdienstleistungen für Kunden im E-Commerce-Bereich an. Mittlerweile beschäftigt die best it GmbH über 100 Mitarbeiter an drei Standorten in Deutschland und Österreich.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Continuous-Integration-Strategie für auf Shopware basierende Kundenprojekte der Firma best it. Um eine Konzeption zu erstellen, die den Anforderungen des Unternehmens entspricht, werden die Ziele Z_n der Strategie nachfolgend definiert:

- **Z_1 Höhere Entwicklungsgeschwindigkeit:**

Die Einführung einer umfangreichen CI-Strategie soll die Effizienz der Softwareentwicklungsteams verbessern und die Zeit bis zum Software-Release senken.

- **Z_2 Steigerung der Softwarequalität:**

CI soll dazu beitragen, Fehler frühzeitig im Entwicklungsprozess zu erkennen und zu beheben, was die Qualität des Endprodukts verbessert.

- **Z_3 Bessere Kommunikation:**

Die CI-Strategie und die damit verbundenen Prozesse, die sich für Entwicklerteams ergeben, sollen zu einer verbesserten Kollaboration führen.

Bei der Konzeption sollen diese Ziele verfolgt und die Maßnahmen der zu erarbeiteten CI-Strategie dementsprechend ausgerichtet werden. Die Strategie soll dabei nicht nur die technischen Aspekte von Continuous Integration berücksichtigen, sondern auch die organisatorischen und kulturellen Veränderungen, die mit der Einführung von CI einhergehen. Darüber hinaus soll die Strategie flexibel genug sein, um sich an zukünftige Veränderungen und Entwicklungen anpassen zu können.

¹ Vgl. eCommerceDB. *The Most Commonly Used Shop Software Among Online Shops in Germany - Shopware and Salesforce Share Rank No. 1.* 2023.

1.3 Struktur der Arbeit

Im Laufe dieser Arbeit wird eine CI-Strategie konzeptioniert und entwickelt. Die Arbeit ist in fünf Hauptabschnitte unterteilt, die jeweils unterschiedliche Aspekte des Prozesses abdecken.

Fachlicher Hintergrund

Zunächst wird der fachliche Hintergrund für die Arbeit festgelegt, der Abschnitt umfasst eine Einführung in das Continuous-Software-Engineering und die Prinzipien und Praktiken von Continuous Integration, sowie eine Übersicht über die Shopware-Plattform. Dieser Abschnitt dient dazu, ein grundlegendes Verständnis für die Themen und Technologien zu schaffen, die in der Arbeit behandelt werden.

Analyse und Konzept

Dieser Abschnitt befasst sich mit der Analyse der aktuellen Situation und der Entwicklung eines Konzepts für die CI-Strategie. Dies beinhaltet die Identifizierung von Herausforderungen und Anforderungen, die Berücksichtigung von Best Practices und die Ausarbeitung eines Plans für die Implementierung der Strategie. Die Konzeptionierung stützt sich dabei auf die im vorherigen Abschnitt aufgezeigte Fachliteratur.

Entwicklung der CI-Strategie

In diesem Abschnitt wird die Entwicklung der CI-Strategie beschrieben. Dies umfasst die Auswahl und Konfiguration der benötigten Tools, die Definition von Prozessen und Workflows und die Implementierung von Automatisierungen und Tests. Der Fokus liegt dabei auf der praktischen Anwendbarkeit des im vorherigen Abschnitt entwickelten Konzepts.

Evaluierung

Die Auswertung der implementierten CI-Strategie wird im folgenden Abschnitt behandelt. Dies beinhaltet die Durchführung von Tests und Messungen, um die Wirksamkeit und Effizienz der Strategie zu bewerten. Dabei wird die umgesetzte Strategie im Hinblick auf die im fachlichen Hintergrund aufgezeigten Prinzipien geprüft. Die Ergebnisse dieser Evaluierung werden analysiert und interpretiert, um Rückschlüsse auf den Erfolg der Implementierung zu ziehen.

Schlussfolgerung und Ausblick

Der letzte Abschnitt fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen und es werden Schlussfolgerungen über die CI-Strategie und dessen Nutzung im Unternehmen gezogen. Darüber hinaus wird ein Ausblick auf mögliche zukünftige Entwicklungen und Verbesserungen gegeben. Dieser Abschnitt dient dazu, die Arbeit abzurunden und einen Ausblick auf weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in diesem Bereich zu geben.

2 Fachlicher Hintergrund

Für die Erarbeitung einer geeigneten CI-Strategie wird zunächst ein Einblick in die Disziplin des Continuous-Software-Engineering gegeben. Anschließend werden die Begrifflichkeiten und Prinzipien von Continuous Integration definiert. Darüber hinaus wird eine Übersicht über die Funktionen und Mechanismen der Shopware-Plattform gegeben.

2.1 Continuous Software Engineering

Continuous-Software-Engineering fasst die Prinzipien der Continuous Integration (CI), Continuous Delivery (CDE), und Continuous Deployment (CD) zusammen. Shahin et al. definieren den Begriff als einen Bereich der Softwareentwicklung, bei dem es um die Entwicklung, Auslieferung und das schnelle Feedback von Software und Kunde geht. Die Disziplin umfasst Geschäftsstrategie und Planung, sowie Entwicklung und den Betrieb der Software.² Diese kontinuierliche Integrierung von Software ist sehr kompatibel mit den häufigen Iterationen in der agilen Softwareentwicklung und wurde unter anderem durch die agile Methodik des Extreme Programming bekannt.³ Nachfolgend werden die Bereiche der agilen Softwareentwicklung und der CI, CDE und CD kurz erläutert.

Agile Software Development

Agile Softwareentwicklung ist ein Ansatz zur Softwareentwicklung, der auf Flexibilität und Kundeninteraktion setzt. Im Gegensatz zu traditionellen, plangetriebenen Methoden, die die Anforderungen und Lösungen am Anfang des Projekts festlegen, erlaubt die agile Methodik Änderungen und Anpassungen während des gesamten Entwicklungsprozesses. Dies wird durch iterative Entwicklung und regelmäßiges Feedback erreicht. Zu den wichtigsten Prinzipien der agilen Softwareentwicklung gehören die kontinuierliche Auslieferung von Software, Offenheit für sich ändernde Anforderungen und enge Zusammenarbeit zwischen Teams und Entwicklern.⁴ Gren und Lenberg fassen Agile als die Reaktionsfähigkeit im Hinblick auf sich ständig ändernde Anforderungen und Umgebungen zusammen.⁵

Continuous Integration

Continuous Integration (CI) ist ein Softwareentwicklungsprozess, bei dem Entwickler ihre Änderungen regelmäßig, oft mehrmals täglich, in ein gemeinsames Repository integrieren. Jede dieser Integrationen wird dann von einem automatisierten Build-System überprüft, um sicherzustellen, dass die Änderungen mit der bestehenden Codebase kompatibel sind und keine Fehler verursachen. Dieser Prozess ermöglicht es Teams, Probleme frühzeitig zu erkennen und zu beheben, was die Qualität der Software verbessert und die Zeit bis zur Auslieferung der Software reduziert.⁶

² Vgl. Shahin, Ali Babar und Zhu. „Continuous Integration, Delivery and Deployment: A Systematic Review on Approaches, Tools, Challenges and Practices“. 2017, S. 3910–3911.

³ Vgl. Fitzgerald und Stol. „Continuous software engineering: A roadmap and agenda“. 2017.

⁴ Vgl. Beck, Beedle, Bennekum et al. *Manifesto for Agile Software Development*. 2001.

⁵ Vgl. Gren und Lenberg. „Agility is responsiveness to change“. 2020.

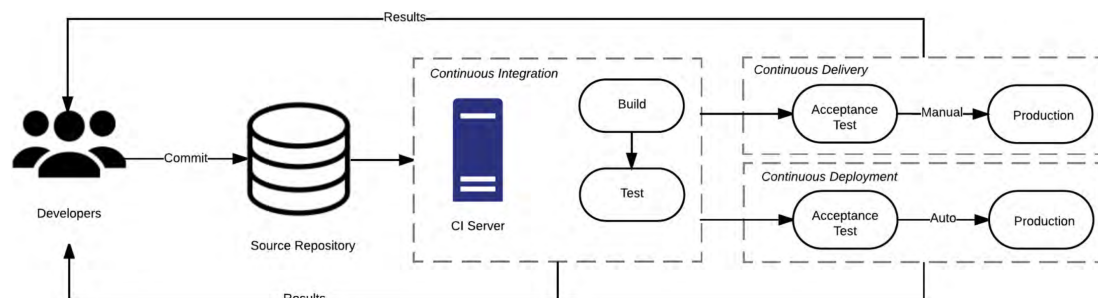
⁶ Vgl. Fowler. *Continuous Integration*. 2006.

Continuous Delivery

Continuous Delivery (CDE) erweitert das Konzept der Continuous Integration, indem es sicherstellt, dass die Software stetig in einem Zustand ist, der sicher in die Produktionsumgebung ausgerollt werden kann. Dies wird durch das Einführen von Integrationstests, die die Funktionalität der vollständigen Software inklusive aller Module testen, erreicht. Das Ziel von CDE ist es, den Prozess der Softwareauslieferung zu beschleunigen und zuverlässiger zu machen, indem menschliche Fehler minimiert und schnelles Feedback über Probleme in der Produktionsumgebung ermöglicht wird.⁷

Continuous Deployment

Continuous Deployment (CD) ist der nächste Schritt nach Continuous Delivery. Bei CD wird jede Änderung, die den automatisierten Testprozess besteht, automatisch in die Produktionsumgebung eingespielt.⁸ Dies bedeutet, dass neue Features und Updates mehrmals täglich an die Endbenutzer ausgeliefert werden können, was eine schnelle Reaktion auf Marktbedingungen und Kundenfeedback ermöglicht. Es ist jedoch zu beachten, dass CD eine hohe Reife der Entwicklungsprozesse und Testautomatisierung erfordert, um die Anzahl der in der Produktionsumgebung auftretenden Fehler zu minimieren. Der Zusammenhang zwischen Continuous Integration, Delivery und Deployment wird in Abbildung 1 aufgezeigt.



Quelle: Übernommen von Shahin, Ali Babar und Zhu (2017)

Abbildung 1: Zusammenhang zwischen CI, CDE und CD

2.2 Begrifflichkeiten und Prinzipien von Continuous Integration

Um die Bedeutung und den Nutzen von Continuous Integration und des Continuous-Software-Engineering für die Softwareentwicklung nachvollziehen zu können, ist es hilfreich, einen Blick auf die historische Entwicklung und die grundlegenden Prinzipien der CI zu werfen. Ein Kernprinzip hinter Continuous Integration wurde bereits im Jahr 1991 von Grady Booch definiert. Hierbei werden Software-Releases nicht als ein großes Ereignis betrachtet, sondern regelmäßig durchgeführt, wobei die vollständige Software stetig größer wird.⁹ Kent Beck popularisierte im Jahr 1998 die Disziplin des „Extreme Programming“, wobei großer Wert auf das frühe und regel-

⁷ Vgl. Humble und Farley. *Continuous Delivery: Reliable Software Releases through Build, Test, and Deployment Automation*. 2010.

⁸ Vgl. Shahin, Ali Babar und Zhu. „Continuous Integration, Delivery and Deployment: A Systematic Review on Approaches, Tools, Challenges and Practices“. 2017, S. 3911.

⁹ Vgl. Booch. *Object oriented design with applications*. 1991.

mäßige Testen und Integrieren der entwickelten Komponenten einer Software gelegt wird. Beck behauptet hierbei, dass ein Feature, für welches es keine automatisierten Tests gibt, auch nicht funktioniert.¹⁰ Im Jahr 2006 fasste Software-Entwickler Martin Fowler einige Bereiche dieser Methodiken in dem Artikel „Continuous Integration“ unter dem gleichnamigen Begriff zusammen. Fowler beschreibt CI als einen Prozess, bei dem Teammitglieder ihre Arbeit regelmäßig integrieren, wobei Integration als der Build-Prozess, inklusive automatisierter Tests, für die vollständige Software mitsamt der erarbeiteten Änderungen zu verstehen ist.¹¹ Ein Ziel dieser Vorgehensweise ist die Reduktion der „Cycle Time“, welche die Zeitspanne von der Entwicklung eines Features bis zum Erhalten des Kundenfeedbacks beschreibt.¹² Da die erfolgreiche Implementierung von Continuous Integration auf der Kombination von verschiedenen Methoden zur Verwaltung von Softwareprojekten fußt, werden im Folgenden einige dieser Schlüsselaspekte kurz dargestellt.

Regelmäßige Integration

Die namensgebende Methodik der CI ist das regelmäßige Integrieren von Software und damit Verbunden ist der Software-Release. In der traditionellen Softwareentwicklung wird der Release als ein einmaliges, großes Ereignis betrachtet. Als Integration wird der Prozess des Einbindens einer einzeln entwickelten Komponente in die bisher bestehende Gesamtheit einer Software bezeichnet, wobei der Release das Zusammenfinden aller Komponenten und das Ausführen des Build-Prozesses bis hin zur fertigen, ausführbaren und auslieferbaren Software beschreibt. In der Vergangenheit wurde bei einem Release jede Einzelkomponente der Software manuell integriert und getestet, wobei dies als eigene Phase in der Entwicklung einer Applikation galt. In einem CI-gestützten Projekt wird der Prozess des Software-Releases vollständig automatisiert, sodass jedes Teammitglied eine entwickelte Komponente schnell integrieren und einen Software-Build erzeugen kann, was sich positiv auf die Cycle Time auswirkt.¹³ In der Regel finden das Bauen und Testen der Software in einer „Pipeline“ statt, welche die genutzten CI-Tools wie Test-Suites und Static-Code-Analysis ausführt.¹⁴

Automatisierte Tests

Neben der regelmäßigen Integrierung von Code gelten automatisierte Software-Tests und Quality-Checks als ein wichtiger Aspekt von CI. Hierbei werden oftmals Unit-Tests verwendet, welche eine einzelne Softwarekomponente auf ihre Funktion prüfen, abgekapselt von anderen Komponenten.¹⁵ Wenn ein Test fehlschlägt, wird in der Regel die Pipeline unterbrochen. Neben den typischerweise schnell durchlaufenden Unit-Tests, die aufgrund ihrer isolierten Natur spezifische Komponenten prüfen, können nach dem Build-Prozess umfassende End-To-End-Tests für die gesamte Software durchgeführt werden. Diese Systemübergreifenden Tests, welche das Zusammenspiel verschiedener Komponenten testen, erhöhen zwar die Dauer des Test-Prozesses,

¹⁰ Vgl. Beck. „Extreme programming: A humanistic discipline of software development“. 1998, S. 2–4.

¹¹ Vgl. Fowler. *Continuous Integration*. 2006.

¹² Vgl. Elazhary, Werner, Li et al. „Uncovering the Benefits and Challenges of Continuous Integration Practices“. 2022, S. 2580.

¹³ Vgl. Fowler. *Continuous Integration*. 2006.

¹⁴ Vgl. Elazhary, Werner, Li et al. „Uncovering the Benefits and Challenges of Continuous Integration Practices“. 2022, S. 2571.

¹⁵ Vgl. Ahmad, Haleem und Beg. „Test Driven Development with Continuous Integration: A Literature Review“. 2013, S. 280.

können aber wichtige Einsicht in die Qualität der Software gewähren.¹⁶ Oftmals kommen auch Static-Code-Analysis Tools zum Einsatz, um eine Pipeline bei Unstimmigkeiten in der Syntax des eingeführten Codes abzubrechen.¹⁷

Reproduzierbarkeit

Ein weiterer zentraler Aspekt von Continuous Integration ist die Reproduzierbarkeit der CI-Pipeline. In einem CI-Umfeld werden der Build- und Testing-Prozess vollständig automatisiert und standardisiert, was bedeutet, dass diese unter den gleichen Bedingungen und mit den gleichen Ergebnissen wiederholt werden können. Dies ist von entscheidender Bedeutung, um sicherzustellen, dass die Software in verschiedenen Umgebungen (z.B. Entwicklung, Test, Produktion) konsistent funktioniert. Durch das Zentralisieren der Software und der CI-Tools in einer Versionskontrolle (VCS), in Verbindung mit dem Automatisieren des Build- und Testing-Prozesses, wird das Wiederherstellen von früheren Ständen in der Entwicklung und das Nachvollziehen von Fehlern im Entwicklungsprozess vereinfacht.¹⁸

Feedback

Schnelles Feedback ist ein weiteres grundlegendes Prinzip von Continuous Integration. Durch die Automatisierung des Build- und Test-Prozesses können Entwickler schnell Feedback über den Status ihrer Änderungen erhalten. Wenn ein Problem auftritt, z.B. ein Test fehlschlägt oder ein Build abbricht, wird das Team sofort benachrichtigt, sodass das Problem schnell behoben werden kann. Dies reduziert die Zeit und den Aufwand, die benötigt werden, um Fehler zu finden und zu beheben, und verbessert die Qualität der Software. Darüber hinaus fördert das schnelle Feedback die Kommunikation und Zusammenarbeit im Team, da alle Mitglieder ständig über den Status des Projekts informiert sind.^{19,20}

2.3 Übersicht über die Shopware-Plattform

Shopware wurde als Online-Shop-Software im Jahr 2000 durch Stefan Hamann ins Leben gerufen²¹ und bietet heute in ihrer aktuellen Major-Version 6 eine moderne E-Commerce-Plattform auf Basis des PHP-Frameworks „Symfony“. Das Symfony-Framework wird neben Shopware noch von anderen PHP-Basierten Projekten wie dem CMS „Drupal“, dem Shop-System „Magento“ und einigen weiteren Programmen²² als Grundlage genutzt und bildet somit ein erprobtes Fundament für die Shopware-Plattform. Shopware selbst ist nach der Installation bereits voll funktionsfähig und kann mit einem Backend und optional mit einem Frontend oder für das Konsumieren der mitgelieferten API eingerichtet werden. Die Software kann auf verschiedenen Plattformen gehostet werden, darunter Linux-Server und containerisierte Umgebungen. Darüber hinaus bietet

¹⁶ Vgl. Fowler. *Continuous Integration*. 2006.

¹⁷ Vgl. Zampetti, Scalabrino, Oliveto et al. „How Open Source Projects Use Static Code Analysis Tools in Continuous Integration Pipelines“. 2017, S. 338.

¹⁸ Vgl. Duvall, Matyas und Glover. *Continuous Integration: Improving Software Quality and Reducing Risk*. 2007, S. 74–75.

¹⁹ Vgl. Elazhary, Werner, Li et al. „Uncovering the Benefits and Challenges of Continuous Integration Practices“. 2022, S. 2573.

²⁰ Vgl. Elazhary, Storey, Ernst et al. „ADEPT: A Socio-Technical Theory of Continuous Integration“. 2021, S. 26–27.

²¹ Vgl. Shopware. *The story behind Shopware AG*. 2023.

²² Vgl. Symfony SAS. *Projects using Symfony - Popular PHP projects using Symfony components or based on the Symfony framework*. 2023.

Shopware als Unternehmen auch eine eigene Hosting-Lösung an, die speziell auf die Anforderungen der Software zugeschnitten ist. Die Plattform kann sowohl im Einzelbetrieb als auch als Cluster genutzt werden, um eine hohe Verfügbarkeit und Skalierbarkeit zu gewährleisten. Nachfolgend wird der Aufbau des Symfony-Frameworks dargestellt und die Architektur der darauf basierenden Shopware-Plattform aufgezeigt.

Symfony-Framework

Symfony ist ein im Jahr 2005 von Fabien Potencier entwickeltes Full-Stack-Framework. Das PHP-basierte Projekt besteht aus verschiedenen Einzelkomponenten, welche unabhängig voneinander verwendet werden können, somit ist es sehr flexibel. Gleichzeitig bietet Symfony eine Reihe von Konventionen und Best Practises für das Erstellen und Nutzen von Komponenten, welche die Entwicklung von Anwendungen erleichtern und beschleunigen. Das Framework ist weit verbreitet und stellt eine robuste Grundlage für die Entwicklung umfangreicher Softwareprojekte dar. Es beinhaltet essenzielle Funktionen, wie Dependency Injection (DI), Profiling, Object-Relational Mapping (ORM), Session Handling, Routing, Formularverwaltung und eine Template-Engine. Durch den Einsatz des Paket-Managers „Composer“ können diese Grundfunktionen erweitert und zusätzliche Features in ein Projekt importiert werden. Symfony bietet eine Reihe von Konsolenbefehlen, die das Erstellen von eigenen Komponenten, die Durchführung von Datenbankmigrationen, das Ausführen von Tests und vieles mehr erleichtern. Die umfangreiche Dokumentation und die aktive Entwicklercommunity des Frameworks bieten einen hervorragenden Support für Entwickler. Zudem gewährleistet Symfony eine Langzeitunterstützung für jede Hauptversion mit einem Support-Zeitraum von drei Jahren, was die Zuverlässigkeit und Stabilität des Frameworks unterstreicht.²³

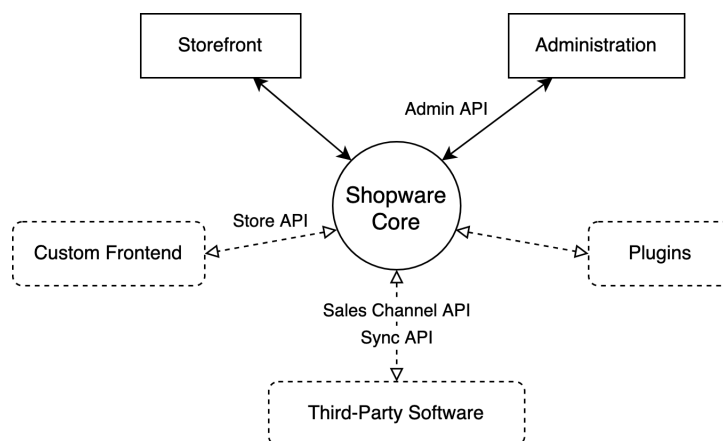
Architektur der Shopware-Plattform

Shopware 6 bietet eine modulare Architektur. Die Plattform besteht aus drei Kernkomponenten, dem Shopware-Core, der Administrations-Oberfläche und der Storefront. Der Core bildet hierbei die grundlegenden Shop-Funktionen und Ressourcen, und stellt für diese verschiedene Schnittstellen zur Nutzung bereit. Die Verwaltung der Shop-Daten, Produkte und weiterer Betriebsfunktionen wird mit der Administrations-Oberfläche vorgenommen. Diese bildet eine eigene Komponente und kommuniziert mit dem Shopware-Core über die Admin-API. Letztlich wird das Frontend durch die Shopware-Storefront dargestellt, welche mithilfe von Symfonys Template-Engine „Twig“ und der direkten Anbindung an den Shopware-Core das Aufrufen von Produkten, Authentifizieren von Usern und Durchführen von Zahlungen ermöglicht. Die Storefront ist eine Komponente, welche optional auch deaktiviert und auf Wunsch durch die Nutzung der Store-API mit einer eigenen Applikation ersetzt werden kann. Im Standardumfang liefert die Shopware-Plattform alle drei Hauptkomponenten aus. Diese stehen als Mono-Repository mit dem Namen `shopware/platform` auf GitHub zur Verfügung.²⁴ Neben den drei Hauptkomponenten bietet die Shopware-Plattform verschiedene Anbindungsmöglichkeiten zur Anpassung des Shop-Systems. Plugins können direkt an den Core angebunden werden und ermöglichen die Erweiterung der Shopware-Logik, das Templating der Storefront oder Anpassungen an der

²³ Vgl. Engebretth und Sahu. „Introduction to Symfony“. 2023, S. 273–278.

²⁴ Vgl. Shopware AG. *Einblicke in die Core Architektur von Shopware 6*. 2019.

Administration. Zusätzlich können die Sync-API und die Sales-Channel-API für die Anbindung externer Anwendungen verwendet werden, wie zum Beispiel Zahlungsanbieter oder E-Mail-Dienste.²⁵ Eine grobe Zusammenfassung der Architektur kann aus Abbildung 2 entnommen werden. Hierbei werden die Kernkomponenten von Shopware aufgezeigt und optionale Services in gestrichelt dargestellt.



Quelle: Eigene Darstellung nach Pickware GmbH (2019)

Abbildung 2: Visualisierung der Shopware-Architektur

Für die Entwicklung der CI-Strategie wird der Fokus auf Shopware-Plugins gesetzt. Durch Plugins können der Shopware-Core, die Administrations-Oberfläche und die Storefront angepasst werden, wobei diese als abgekapselte Module entwickelt oder als Monolith zusammen mit dem Shopware-Projekt in einem gemeinsamen Repository verwaltet werden können. Shopwares Plugin-System baut auf dem Bundle-System von Symfony auf, um standardisierte, modulare Erweiterungen der Software zu ermöglichen, wobei das Bundle-System Funktionen wie Plugin-Lifecycle-Verwaltung bereitstellt. Symfony nutzt teils für eigene Core-Features das Bundle-System, um die einzelnen Teilbereiche des Frameworks modular zu gestalten.²⁶ Durch die solide Basis der Symfony-Bundles bieten Shopware-Plugins eine klare Struktur und eine hohe Erweiterbarkeit und fördern die Wiederverwendbarkeit von entwickelter Software für das Shop-System. Shopware-Plugins folgen einer vorgegebenen Orderstruktur. Hierbei wird die Plugin-Logik, zusammen mit Templates und Stylesheets im Ordner `src` verwaltet, während sich Software-Tests für die eingeführte Logik in einem eigenen Ordner `tests` befinden. Plugin-Konfigurationen können im Ordner `config` angelegt werden. Zusätzlich können Bilder und andere öffentliche Ressourcen im `public`-Verzeichnis hinterlegt werden. Da die in einem Shopware-Projekt eingeführte Logik am relevantesten für die CI-Strategie ist, werden Tests auf die im `src`-Order befindlichen Dateien beschränkt.

²⁵ Vgl. Pickware GmbH. *Shopware 6 – Ein Blick auf die neue Architektur*. 2019.

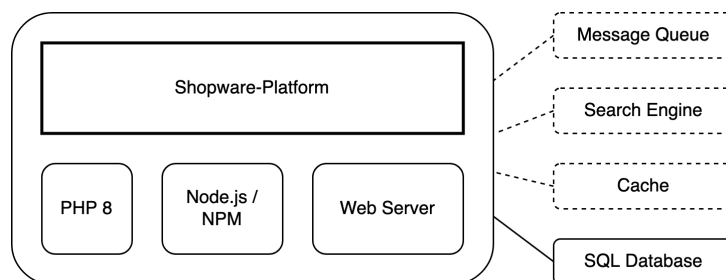
²⁶ Vgl. Shopware AG. *Plugins for Symfony developers*. 2023.

3 Analyse und Konzept

Im folgenden Kapitel werden verschiedene Techniken zur kontinuierlichen Integrierung von Code analysiert und eine Konzeption für Shopware-basierte Projekte erarbeitet. Zunächst wird die aktuelle Situation untersucht und eine Grundlage für die Einführung von Qualitätsanalyse-Tools und automatisiertem Testing gelegt. Anschließend werden verschiedene CI-Tools analysiert und für den Einsatz in der zu konzipierenden Pipeline bewertet. Zuletzt wird eine Konzeption durchgeführt, diese stützt sich dabei auf die zuvor festgelegte Ausgangssituation und die untersuchten Tools.

3.1 Analyse der Ausgangssituation

Die aktuelle Situation stellt sich wie folgt dar: Es gibt verschiedene Kunden, die mit unterschiedlichen Versionen von Shopware arbeiten. Diese Kunden sind bei verschiedenen Hosting-Anbietern untergebracht, was zu einer Vielfalt an technischen Umgebungen führt, in denen die Software betrieben wird. Darüber hinaus verwendet jeder Kunde eine individuelle Kombination aus Plugins und Eigenentwicklungen, die auf seine spezifischen Bedürfnisse zugeschnitten sind. Diese Diversität stellt eine Herausforderung dar, da sie eine Vielzahl von Variablen in die Entwicklung und Wartung der Software einbringt. Um eine generalisierte Strategie erstellen zu können, wird sich also zunächst auf die Gemeinsamkeiten von Shopware-Projekten konzentriert.



Quelle: Eigene Darstellung nach Shopware AG (2023)

Abbildung 3: Umgebung und Abhängigkeiten der Shopware-Plattform

Shopware besteht aus einer Vielzahl von Verzeichnissen und Dateien, jede Version der Software und jedes Shopware-basierte Projekt unterscheiden sich voneinander. Ungeachtet von Projekt und Version gibt es jedoch einige Grundvoraussetzungen für das Ausführen von Shopware. Die Programmiersprache PHP mit einigen Extensions und der Paketmanager Composer müssen in der ausführenden Umgebung installiert sein. Zusätzlich wird die Javascript-Runtime „Node“ mit Paketmanager NPM benötigt, um das Frontend zu bauen. Die Software setzt außerdem eine Datenbank für den Betrieb des Shops und das Durchführen von End-to-End-Tests voraus, und benötigt einen Webserver um aufgerufen werden zu können. Im Live-Betrieb unterstützt die Plattform das optionale Anbinden einer Message-Queue und einer Search Engine, um viele gleichzeitige Zugriffe von Usern verwalten zu können und das Suchen von Produkten und Herstellern für Shop-Kunden zu ermöglichen. Zur weiteren Optimierung der Produktions-Umgebung kann zudem ein Cache für Warenkorb-Inhalte und Nutzer-Sessions eingeführt werden.²⁷ In Ab-

²⁷ Vgl. Shopware AG. *Requirements*. 2023.

bildung 3 werden die Abhängigkeiten der Shopware-Plattform und die verschiedenen Services für den Betrieb der Software aufgezeigt. Hierbei werden optionale Services in gestrichelt dargestellt. Um ein Projekt installieren und ausführen zu können, oder um Tests auf der Code-Base durchzuführen, wird also eine Umgebung vorausgesetzt, in der die benötigten Services und Tools installiert sind.

3.2 Auswertung von CI/CD-Tools

Um die Konzeption einer CI-Pipeline durchführen zu können, müssen zunächst die zur Umsetzung verfügbaren Tools erfasst und für den Einsatz in Kundenprojekten bewertet werden. Dabei spielen verschiedene Aspekte eine Rolle, wie die Kompatibilität mit dem bestehenden Technologie-Stack, die Skalierbarkeit und die Benutzerfreundlichkeit. Nachfolgend werden verschiedene Kategorien von Tools und Services, die für eine CI-Pipeline genutzt werden können, vorgestellt.

Version Control Systems

Die Integration von Software wird durch VCS ermöglicht. Änderungen im Code werden hier hinzugefügt und verschiedene Versionsstände zusammengeführt. VCS somit ein integraler Bestandteil von Continuous Integration, Fowler setzt das Führen eines einzelnen Source-Repositories voraus, welches die Software, inklusive aller Build- und Testing-Dateien, verwaltet.²⁸ Um eine vollumfängliche CI-Strategie erstellen zu können, muss also die Versionskontroll-Software inklusive dazugehöriger Services berücksichtigt werden. Für die Konzeption wurden einige Bekannte und erprobte Anbieter von Enterprise-VCS untersucht:

- **GitHub:**

GitHub ist ein webbasierter Hosting-Service für Versionierung mit Git. Es bietet alle verteilten Versionskontroll- und Quellcodeverwaltungsfunktionen von Git sowie einige eigene Funktionen. Es bietet Zugriffskontrolle und mehrere Kollaborationsfunktionen wie Aufgabenverwaltung, Fehlerverfolgung und Feature-Requests für Projekte. GitHub bietet sowohl Pläne für private Repositories als auch kostenlose Konten, die normalerweise verwendet werden, um Open-Source-Softwareprojekte zu hosten. Der Service bietet außerdem CI-Tools und Pipeline-Verwaltung an. Als Managed Service kümmert sich GitHub um die Wartung der Infrastruktur.²⁹

- **GitLab:**

GitLab ist ein webbasiertes VCS-Tool, welches einen Git-Repository-Manager bereitstellt. Der Service ist vergleichbar mit GitHub und bietet viele ähnliche Funktionen, wie Issue-Tracking, kontinuierliche Integration und Deployment-Pipelines, sowie eine integrierte Wiki-Funktion für die Dokumentation. Es wird unter einer Open-Source-Lizenz vertrieben und eine Self-Managed-Version ermöglicht es, GitLab auf eigenen Servern zu installieren und zu verwalten. Dies bietet mehr Kontrolle über die Daten und die Möglichkeit, die Plattform an spezifische Bedürfnisse anzupassen.³⁰

²⁸ Vgl. Fowler. *Continuous Integration*. 2006.

²⁹ Vgl. GitHub, Inc. *GitHub: Let's build from here*. 2023.

³⁰ Vgl. GitLab B.V. *The DevSecOps Platform / GitLab*. 2023.

- **Bitbucket:**

Bitbucket ist ein weiteres webbasiertes Tool zur Verwaltung von VCS, welches sowohl von kommerziellen als auch von kostenlosen Konten genutzt wird. Es wird von der Firma Atlassian betrieben und ermöglicht das Hosting von Git- und Mercurial-Repositorys. Bitbucket integriert auch mit anderen Atlassian-Produkten wie Jira und Confluence. Es bietet Funktionen wie Pull-Requests für Code-Reviews und Inline-Kommentare. Bitbucket bietet sowohl Managed als auch Self-Hosted-Optionen.³¹

- **SourceForge:**

SourceForge ist eine Open-Source VCS-Lösung, welche sowohl Git als auch Mercurial unterstützt. Die Plattform kann sowohl zur Versionskontrolle als auch für das Ausliefern von Software verwendet werden, wobei diese oft für Open-Source-Projekte genutzt wird. SourceForge ist webbasiert und bietet den direkten Download von einer Vielzahl von Software-Projekten an.³²

Pipeline- und Test-Runners

Um die in einer Versionskontroll-Software eingeführten Code-Änderungen automatisiert bauen, testen und ausliefern zu können, wird eine ausführende Umgebung für diese Prozesse benötigt. Für diese Problemstellung gibt es Pipelines, welche zum Ausführen von Befehlen und Prozessen zur automatischen Integration und dem Testen von Code genutzt werden.³³ Pipelines spielen durch das kontinuierliche Integrieren von entwickeltem Code eine integrale Rolle bei der Reduzierung der Cycle Time³⁴ und sind somit wichtig zum Erreichen des Ziels Z_1 der Arbeit. Große Enterprise-VCS-Anbieter wie GitHub, GitLab und Bitbucket haben bereits eine Pipeline-Lösung in ihrem System integriert und bieten Hardware-Ressourcen zum Ausführen der Pipelines an. Neben den eingebauten Pipeline-Services der Enterprise-Anbieter gibt es einige eigenständige Tools, welche Teils selbst gehostet werden müssen. Nachfolgend werden einige dieser CI/CD-Services im Hinblick auf den Einsatz in der zu entwickelnden Strategie untersucht:

- **GitHub Actions:**

GitHub Actions ist die eingebaute CI/CD-Lösung von GitHub. Actions können in jedem Repository in einem bestimmten Verzeichnis in Form von Konfigurations-Dateien im YAML-Format angelegt werden. Durch Actions kann an verschiedenen Stellen im Nutzungszyklus des VCS angeknüpft werden, um zum Beispiel nach einem Push oder bei Merge-Prozessen verschiedene Aktionen mit dem eingeführten Code durchzuführen. An dieser Stelle können dann je Branch verschiedene Aktionen definiert werden, wie zum Beispiel das Durchführen von Build-Prozessen, Tests und des Software-Deployments. Beim Merging-Prozess von verschiedenen Branches kann so zum Beispiel das erfolgreiche Durchlaufen der Pipeline vorausgesetzt werden, um fehlerhaften oder ungetesteten Code im Ziel-Branch zu vermeiden. Die für das Ausführen der Pipeline benötigten Umgebungsva-

³¹ Vgl. Atlassian Corporation. *Bitbucket / Git solution for teams running Jira*. 2023.

³² Vgl. Slashdot Media. *Compare, Download & Develop Open Source & Business Software - SourceForge*. 2023.

³³ Vgl. Elazhary, Werner, Li et al. „Uncovering the Benefits and Challenges of Continuous Integration Practices“. 2022, S. 2571.

³⁴ Vgl. Fowler. *Continuous Integration*. 2006.

riablen, Passwörter und andere vertrauliche Daten können dabei in einer von GitHub zur Verfügung gestellten, sicheren Datenbank verwaltet werden.³⁵

- **GitLab CI/CD:**

Ähnlich wie GitHub bietet auch GitLab eine eingebaute Pipeline-Lösung für das Ausführen von CI- und CD-Prozessen. GitLab CI/CD ist vollständig in GitLab integriert und verwendet eine Konfigurations-Datei innerhalb des Repositories, um die Phasen des CI/CD-Prozesses zu definieren. Es bietet eine breite Palette von Funktionen, einschließlich der Parallelisierung von Tests, Pipelines für Merge Requests und das Verwalten von Umgebungsvariablen. GitLab CI/CD kann auf eigenen Servern oder in der Cloud ausgeführt werden, und sowohl für bei GitLab, als auch für extern gehostete Repositories verwendet werden, was es zu einer flexiblen Lösung macht.³⁶

- **Bitbucket Pipelines:**

Bitbucket bietet, ähnlich wie GitHub und GitLab, eine integrierte CI/CD-Lösung. Bitbucket Pipelines ermöglicht die Automatisierung von Build-, Test-/QA- und Deployment-Prozessen und ist dabei direkt an das Repository angebunden. Der Service verwendet ebenfalls eine YAML-Datei zur Konfiguration der Pipelines und bietet eine Vielzahl von vordefinierten Umgebungen und Integrationen mit anderen Tools. Wie GitLab, unterstützt auch Bitbucket Pipelines das parallele Durchführen von Tests. Pipelines können sowohl innerhalb von Bitbucket, als auch in der selbst-gehosteten Version genutzt werden.³⁷

- **Jenkins:**

Jenkins ist ein Open-Source-Tool, das für Continuous Integration entwickelt wurde, aber auch Continuous Delivery unterstützt. Es bietet eine große Anzahl von Plugins und Erweiterungen, die es zu einer flexiblen Lösung für CI/CD-Pipelines machen. Jenkins unterstützt das Verteilen von Arbeitslast auf verschiedene Systeme und kann auf einer Vielzahl von Plattformen und Umgebungen ausgeführt werden. Der Service kann durch Plugins angepasst und erweitert werden, um eigene Build-, Testing- und QA-Tools einführen zu können. Jenkins muss selbst gehostet werden, was eine größere Kontrolle über die Ausführungs Umgebung ermöglicht, aber auch einen höheren Wartungsaufwand mit sich bringt.³⁸

- **Travis CI:**

Travis CI ist ein Cloud-basierter CI/CD-Service, der sich besonders gut für Projekte eignet, die auf GitHub gehostet werden. Es bietet eine einfache Einrichtung und Konfiguration durch eine YAML-Datei im Repository und unterstützt eine Vielzahl von Programmiersprachen und Tools. Der Service ermöglicht das gleichzeitige Testen in verschiedenen Umgebungen und die Verwaltung von Umgebungsvariablen und Secrets, sowie das Erweitern der Plattform für die Integration externer Applikationen. Travis CI bietet sowohl kostenlose Pläne für Open-Source-Projekte als auch kostenpflichtige Pläne für private Projekte.³⁹

³⁵ Vgl. GitHub, Inc. *Features · GitHub Actions · GitHub*. 2023.

³⁶ Vgl. GitLab B.V. *GitLab CI/CD | GitLab*. 2023.

³⁷ Vgl. Atlassian Corporation. *Bitbucket Pipelines - Continuous Delivery | Bitbucket*. 2023.

³⁸ Vgl. Jenkins. *Jenkins - Build great things at any scale*. 2023.

³⁹ Vgl. Idera, Inc. *Travis CI - Build Faster*. 2023.

Testing-Tools

Shopware-Projekte gewinnen schnell an Umfang, der Aufwand für das manuelle Testen der einzelnen Entwicklungen steigt mit jedem eingeführten Feature. Software-Tests sind ein nützliches Tool für CI-Pipelines und helfen dabei, das aufwändige manuelle Testen der Einzelkomponenten bei einem Software-Release zu minimieren. Automatisierte Tests werden eingesetzt, um sicherzustellen, dass mit neuen Features weniger Wechselwirkungen mit vorher eingeführter Logik aufkommen und um Fehler im Entwicklungsprozess früher entdecken zu können. Das häufige, automatisierte Testing in der CI kann sich positiv auf die Qualität der entwickelten Software auswirken^{40, 41}, somit sind Software-Tests im Hinblick auf Zielsetzung Z_2 der Arbeit relevant. Nachfolgend werden verschiedene Arten von Software-Tests beschrieben und Tools für das Einbinden dieser Tests in der bestehenden Systemlandschaft untersucht:

- **Unit-Tests:**

Unit-Tests verifizieren das Verhalten von kleinen Elementen eines Software-Systems, meist einzelner Klassen. Beim Durchführen von Unit-Tests wird das gewünschte Verhalten von Software-Komponenten definiert und diese anschließend ausgeführt um das Ergebnis mit dem zuvor definierten, erwarteten Verhalten zu vergleichen. Diese Tests haben keine äußerlichen Abhängigkeiten wie Datenbanken, da der jeweils getestete Code isoliert vom Rest des Software-Systems getestet wird. Um etwaige Abhängigkeiten die zur Ausführung des Codes benötigt werden zu umgehen, werden Mocks eingesetzt. Ein Mock stellt eine Nachahmung der Vorgehensweise einer Abhängigkeit dar, so kann zum Beispiel das Verhalten einer Datenbank simuliert werden, ohne diese als Service im Testing-Prozess zu benötigen. Oftmals wird der Anteil von durch Tests abgedeckten Klassen und Funktionen im Kontrast zu der Anzahl an ungetesteten Komponenten der Software gemessen, dieser Wert wird als Coverage bezeichnet.⁴² Nachfolgend werden Tools für das Ausführen von Unit-Tests in Shopware-basierten Projekten untersucht:

- **PHPUnit:**

PHPUnit ist ein weit verbreitetes Open-Source Unit-Testing-Framework, welches zum Erstellen von Unit-Tests in PHP-basierten Applikationen verwendet wird. Das Framework ermöglicht das Erstellen von Mocks und das Auswerten der Test-Coverage für das zu testende Projekt.⁴³

- **Jest:**

Jest ist ein Javascript Testing-Framework und ermöglicht das Einbringen von Unit-Tests in JavaScript-basierten Applikationen. Ähnlich wie PHPUnit, unterstützt Jest das Erstellen von Mocks und bietet Funktionen zur Coverage an. Das Framework parallelisiert laufende Tests, um eine möglichst hohe Performance zu bieten.⁴⁴

⁴⁰ Vgl. Ahmad, Haleem und Beg. „Test Driven Development with Continuous Integration: A Literature Review“. 2013, S. 281.

⁴¹ Vgl. Elazhary, Werner, Li et al. „Uncovering the Benefits and Challenges of Continuous Integration Practices“. 2022, S. 2570.

⁴² Vgl. Duvall, Matyas und Glover. *Continuous Integration: Improving Software Quality and Reducing Risk*. 2007, S. 132–133.

⁴³ Vgl. Bergmann. *PHPUnit – The PHP Testing Framework*. 2023.

⁴⁴ Vgl. Meta Platforms, Inc. *Jest · Delightful JavaScript Testing*. 2023.

- **Functional Tests:**

Funktionstests stellen eine Umgebung dar, in der das Software-System auf Interoperabilität der einzelnen Komponenten und Services geprüft wird. Hierbei stehen alle Abhängigkeiten und Services für die Software zur Verfügung, um das Zusammenspiel von verschiedenen Komponenten des Systems aus Sicht des Kunden zu testen. Diese Tests erfordern oft ein längeres Test-Setup und eine höhere Laufzeit.⁴⁵ Im Folgenden werden einige Testing-Tools für systemweite Tests untersucht:

- **Cypress:**

Cypress ist ein Testing Framework für Webapplikationen. Es ermöglicht das automatisierte Testen von Benutzerinteraktionen innerhalb einer Webapplikation in einem realen Browser. Cypress ist besonders nützlich für das Testen von komplexen Webapplikationen und unterstützt sowohl Unit- als auch Integrations- und End-to-End-Tests. Cypress ermöglicht das Testen des Zusammenspiels des gesamten Projekts und kann zur Automatisierung von Testfällen genutzt werden, bei denen normalerweise Nutzer-Interaktion erforderlich ist.⁴⁶

- **Selenium:**

Selenium ist ein weit verbreitetes Open-Source-Tool für automatisierte Tests. Ähnlich wie Cypress, ermöglicht es das Testen von Webanwendungen in verschiedenen Browsern und auf verschiedenen Plattformen. Selenium unterstützt eine Vielzahl von Programmiersprachen, darunter JavaScript, Java, C#, Python und Ruby. Es kann als Testing-Tool in einem Web-basierten Projekt oder als Automatisierungstool für andere Aufgaben verwendet werden.⁴⁷

- **Mutation-Tests:**

Mutation Testing ist eine Testtechnik, bei der die Effektivität eines existierenden Testsets bestimmt werden kann. Hierbei wird der zu testende Source-Code verändert, oder mutiert, und dieser abgeänderte Code mit einem bestehenden Test-Set geprüft. Wenn die mutierte Variante des Codes durch das Test-Set aufgedeckt wurde, indem der Test fehlschlägt, wird der mutierte Code, auch Mutant genannt, als eliminiert betrachtet. Durch Mutation Tests können Schwachstellen in Software-Tests gefunden werden und die Qualität der bestehenden Tests eines Tests gemessen werden. Zur Messung der Effektivität eines Test-Sets wird der „Mutation Adequacy Score“ oder „Mutation Score“ (MS) genutzt. Schlägt der Test eines mutierten Quellcodes nicht fehl, wirkt sich das negativ auf den MS aus:

$$MS = \frac{\text{Anzahl eliminierten Mutanten}}{\text{Anzahl Mutanten}}$$

Das Ziel ist hierbei das Abdecken möglichst aller Mutanten durch ein Test-Set T , sodass dessen Mutation Score $MS = 1$ entspricht.⁴⁸

⁴⁵ Vgl. Duvall, Matyas und Glover. *Continuous Integration: Improving Software Quality and Reducing Risk*. 2007, S. 136–138.

⁴⁶ Vgl. Cypress.io, Inc. *JavaScript Component Testing and E2E Testing Framework | Cypress*. 2023.

⁴⁷ Vgl. Software Freedom Conservancy. *Selenium*. 2023.

⁴⁸ Vgl. Jia und Harman. „An Analysis and Survey of the Development of Mutation Testing“. 2011, S. 649–652.

- **Infection:**

Infection ist eine Mutation-Testing-Library für PHP. Sie ändert den Quellcode automatisch und führt dann bestehende Tests erneut aus, um zu sehen, ob diese fehlschlagen. Wenn die Tests bestehen, obwohl der Code mutiert wurde, zeigt Infection diese Stellen im Code an, damit diese verbessert werden können. Infection nutzt einen eigenen „Mutation Score Indicator“ (MSI), die Formel zur Berechnung des MSI ist wie folgt definiert:

$$TotalDefeatedMutants = KilledCount + TimedOutCount + ErrorCount$$

$$MSI = \left(\frac{TotalDefeatedMutants}{TotalMutantsCount} \right) * 100$$

Neben dem MSI stellt Infection noch weitere Faktoren zum Bestimmen der Effektivität von Test-Sets bereit. Die Library unterstützt die Integration mit PHPUnit, Codeception und weiteren Testing-Tools.⁴⁹

Static-Code-Analysis-Tools

Neben automatisiertem Testing ist das statische Analysieren des Codes ein weiterer wichtiger Aspekt für die Qualitätskontrolle von Software in einer CI-Umgebung. Wobei Tests nur die Ergebnisse des Ausführens von Komponenten und Funktionen messen, können statische Code-Analysis-Tools die Struktur des Codes und die Einhaltung von vorgegebenen Standards bewerten. Eine laufende CI-Pipeline kann so bei der Einführung von Code, welcher nicht dem vorgegebenen Coding-Standard entspricht, abgebrochen werden. Dies zwingt die Entwickler eines Projekts dazu, eine einheitliche Code-Struktur zu verwenden und kann das Einführen von Fehlern verringern. Außerdem können Static-Code-Analysis-Tools durch Warnungen dazu beitragen, dass unperformanter Code nicht in die Produktions-Umgebung gerät.⁵⁰ Da statische Code-Analyse die Qualität der entwickelten Software verbessern können, ist diese hilfreich für das Erreichen des Ziels Z_2 der Arbeit. Im Folgenden werden einige dieser Tools für die in Shopware-Projekten verwendeten Programmiersprachen PHP und JavaScript gesammelt:

- **ESLint:**

ESLint ist ein statisches Tool zur Analyse von JavaScript-Code. Das Tool ist sehr anpassbar und kann für das Entwickeln mit verschiedenen Frameworks und Libraries genutzt werden. Viele IDEs unterstützen ESLint und zeigen Analyse-Resultate bereits bei der Entwicklung im Editor an. Das Tool unterstützt außerdem das automatische Beheben von bestimmten Syntax-Fehlern mit einem eingebauten Kommandozeilenbefehl.⁵¹

- **Danger:**

Danger ist ein statisches Analyse-Tool, welches direkt in VCS angebunden werden kann. Das Tool läuft während des CI-Prozesses und kann zur Automatisierung von Code-Review-Aufgaben genutzt werden. Mit Danger können Warnungen und Fehler in der Pipeline ge-

⁴⁹ Vgl. Rafalko. *Introduction - Infection PHP*. 2023.

⁵⁰ Vgl. Zampetti, Scalabrino, Oliveto et al. „How Open Source Projects Use Static Code Analysis Tools in Continuous Integration Pipelines“. 2017.

⁵¹ Vgl. OpenJS Foundation. *Find and fix problems in your JavaScript code - ESLint - Pluggable JavaScript Linter*. 2023.

worfen werden, wenn Pull-Requests (PRs) zu groß werden, kein Changelog-Eintrag für Änderungen angelegt wurde, Lockfiles nicht up-to-date sind, der PR unzugewiesen ist und vieles mehr. Die offizielle Ausführung der Software umfasst die Programmiersprachen JavaScript, Ruby, Kotlin, Python und Swift, wobei es auch eine unoffizielle PHP-Implementierung gibt.^{52, 53}

- **PHP_CodeSniffer:**

PHP_CodeSniffer (PHPCS) ist ein Set aus zwei Kommandozeilen-Befehlen für das Analysieren von PHP- und JavaScript-Code und von Cascading Style Sheets (CSS) nach einem gegebenen Coding-Standard und für das automatische Korrigieren von Abweichungen dieses Standards. Das Tool kann mit vorgegebenen und eigens erstellten oder angepassten Regelsätzen betrieben werden.⁵⁴

- **PHP Mess Detector:**

PHP Mess Detector (PHPMD) ist eine Software die nach vorgegebenen Problemen und Unstimmigkeiten in PHP-Code sucht. Das Tool kann zum verhindern des Einführens von überflüssigen Variablen und Methoden, unoptimiertem Code und möglichen Fehlern in die Zielumgebung genutzt werden. PHPMD kann ergänzend zu Danger und PHPCS zur statischen Analyse von PHP-Code verwendet werden.⁵⁵

- **PHPStan:**

PHPStan ist ein weiteres QA-Tool für das statische Analysieren von PHP-Code. Es konzentriert sich auf die Erkennung von Fehlern, die im laufenden Betrieb zu Problemen führen können, wie z.B. Aufrufe von nicht existierenden Methoden, ungenutzte Variablen, usw. PHPStan kann in den Entwicklungsprozess integriert werden, um die Codequalität kontinuierlich zu verbessern.⁵⁶

- **Deptrac:**

Deptrac ist ein statisches Code-Analyse-Tool, das dabei hilft, die Architektur eines PHP-Projekts zu verstehen und zu überprüfen. Es stellt sicher, dass die Abhängigkeiten zwischen den Modulen eines Projekts den definierten Architekturregeln entsprechen. Deptrac kann in den Entwicklungsprozess integriert werden, um die Architektur des Projekts kontinuierlich zu überwachen und zu verbessern.⁵⁷

- **License checker:**

License checker ist ein Tool, das die Lizenzen von Abhängigkeiten in einem Projekt überprüft. Es kann dabei helfen, Lizenzprobleme bei Plugins und Erweiterungen von Drittanbietern zu identifizieren und zu vermeiden. Das Tool ist in PHP geschrieben und konzentriert sich auf das Überprüfen von Composer-Abhängigkeiten.⁵⁸

⁵² Vgl. Therox und Danger JS contributors. *Danger JS*. 2023.

⁵³ Vgl. Sayakci. *Danger PHP*. 2023.

⁵⁴ Vgl. Squiz Labs. *PHP_CodeSniffer*. 2023.

⁵⁵ Vgl. Pichler. *PHPMD - PHP Mess Detector*. 2023.

⁵⁶ Vgl. Mirtes. *Find Bugs Without Writing Tests | PHPStan*. 2023.

⁵⁷ Vgl. QOSSMIC GmbH. *Deptrac*. 2023.

⁵⁸ Vgl. madewithlove BV. *CLI Licence checker for composer dependencies*. 2023.

- **Symfony security checker:**

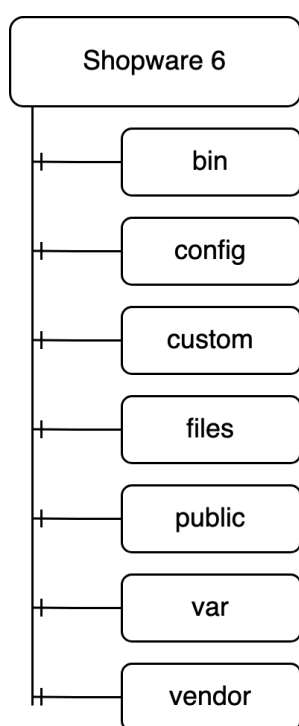
Der Symfony Security Checker ist ein Befehlszeilentool, das überprüft, ob die in einem Symfony-Projekt verwendeten Abhängigkeiten bekannte Sicherheitslücken aufweisen. Das Tool kann zusammen mit der Symfony-CLI oder als eigenständiges Software installiert werden und hilft dabei, PHP-Projekte kontinuierlich zu überwachen und sicher zu halten.⁵⁹

3.3 Konzeption der CI-Strategie

Im Folgenden wird die Konzeption der CI-Strategie für Kundenprojekte auf Basis der Shopware-Plattform durchgeführt. Zunächst wird eine generelle Projekt-Struktur für die Strategie definiert, wobei besonderer Wert auf die Kompatibilität mit unterschiedlichen Shopware-Projekten in verschiedenen Umgebungen gesetzt wird. Anschließend werden, anhand der im vorherigen Abschnitt untersuchten CI/CD-Tools, Pipelines für verschiedene Branching-Strukturen und Projekt-Ansätze erarbeitet. Zuletzt wird der Einsatz von Continuous Delivery und Deployment in der Strategie im Hinblick auf Shopware-Projekte bewertet.

Projekt-Struktur und Umgebung

Die Verzeichnis-Struktur von Projekten auf der Basis von Shopware 6 ist durch die Software vorgegeben. Führt man Shopware zum ersten Mal aus, werden 7 Verzeichnisse angelegt:



- **bin**: Das **bin**-Verzeichnis enthält Skripte und andere ausführbare Dateien, die Aktionen in der Shopware-Plattform auslösen. So kann zum Beispiel die Administration oder die Storefront neu gebaut, der Cache geleert oder ein neuer Backend-Benutzer angelegt werden.
- **config**: Im **config**-Verzeichnis, werden Konfigurationsdateien abgelegt, die das Verhalten von Shopware steuern. Hier können zum Beispiel Datenbank-, Cache-, Search-Engine- und Message-Queue-Konfigurationen gespeichert werden.
- **custom**: Benutzerdefinierte Plugins und Themes können im **custom**-Verzeichnis angelegt werden. Hierdurch kann die Funktionalität und das Aussehen von Shopware an die spezifischen Anforderungen eines Projekts angepasst werden.
- **files**: Hochgeladene Dateien und Medien, wie zum Beispiel Produktbilder, Downloads und andere Dateien, die über das Backend hochgeladen werden, werden im **files**-Verzeichnis gespeichert.
- **public**: Alle öffentlich zugänglichen Dateien der Anwendung, einschließlich statischer Ressourcen wie CSS, JavaScript, Schriftarten und generierte Bilder und Thumbnails, werden im **public**-Verzeichnis abgelegt.

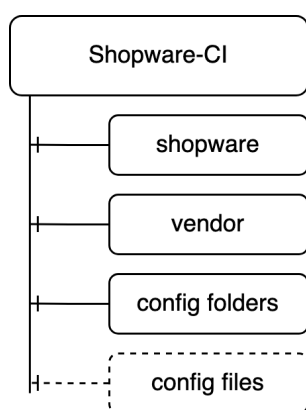
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 4:
Verzeichnis-Struktur
eines Shopware-Projekts

⁵⁹ Vgl. Symfony SAS. *Installing & Setting up the Symfony Framework - Checking Security Vulnerabilities*. 2023.

- **var**: Temporäre Dateien, die während der Ausführung von Shopware generiert werden, wie Cache-Dateien, Log-Dateien und Sitzungsdaten, werden im **var**-Verzeichnis abgelegt.
- **vendor**: Das **vendor**-Verzeichnis beherbergt alle Abhängigkeiten der Shopware-Instanz und dessen Plugins. Diese Abhängigkeiten werden über den Paketmanager Composer verwaltet.

In Abbildung 4 wird eine Übersicht über die Verzeichnis-Struktur eines Shopware-Projekts gegeben. Um die zu konzipierende Strategie möglichst flexibel zu gestalten, macht es Sinn die Shopware-Installation mit all diesen Verzeichnissen in einen eigenen Ordner auszulagern. Dies hat zur Folge, dass die Dateien, die zum Ausführen und Testen des Shops benötigt werden, getrennt



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 5: Geplante Verzeichnis-Struktur der CI-Strategie

von den Dateien gelagert sind, die den Shop ausmachen. Dadurch kann ein beliebiges Shop-Projekt in den **shopware**-Ordner gelegt werden, wobei weiterhin die Möglichkeit zur Anpassung der ausführenden Umgebung und der Testing-Tools besteht. In der CI-Strategie soll neben dem **shopware**-Verzeichnis ein eigenes Composer-Projekt mit **vendor**-Ordner und verschiedene Verzeichnisse für die Tool-Konfigurationen und Auswertungen und Caches der Tests existieren. Die restlichen Konfigurations-Dateien für etwaige Tools und Services liegen dabei direkt im Hauptverzeichnis des Projekts.

In Abbildung 5 kann die geplante Verzeichnis-Struktur für die CI-Strategie eingesehen werden, hierbei werden Ordner in durchgehenden und Dateien mit gestrichelten Linien dargestellt. Neben diesen Verzeichnissen und Dateien besteht die Struktur des Projekts auch aus einer Umgebung, in der die Shopware-Plattform

ausgeführt, getestet und analysiert werden kann. Eine Umgebung muss in diesem Fall in einer CI-Pipeline ausführbar sein und die Grundbedürfnisse der Shopware-Instanz bereitstellen. Dies beinhaltet die von Shopware genutzte PHP-Version mit PHP-Erweiterungen, Composer, Node, eine Webserver-Software und weitere Voraussetzungen. Shopware stellt für diese Anforderung ein Docker-Image bereit, welches für verschiedene Shopware-Versionen die unterschiedlichen PHP- und Composer-Versionen und Node, den Apache Webserver und alle anderen Abhängigkeiten der Plattform bereithält.⁶⁰ Docker und das darunterliegende Prinzip der Containerization sind Technologien, die Linux-Kernel-Features nutzen, um Anwendungen und ihre Abhängigkeiten in einem leichtgewichtigen, eigenständigen und isolierten Paket zu bündeln, das auf jeder Plattform ausgeführt werden kann, die Container unterstützt. Dies ermöglicht eine hohe Portabilität und Konsistenz über verschiedene Umgebungen hinweg und führt zu einem Performance-Zuwachs gegenüber der traditionellen Virtualisierung. Ein Docker-Image ist eine Vorlage für einen Docker-Container, der eine laufende Instanz eines Docker-Images ist. Ein wesentlicher Vorteil eines Docker-Images besteht darin, dass es sowohl in einer CI-Pipeline, als auch in einer lokalen Entwicklungsumgebung oder in Produktion zum Ausführen der Software genutzt werden kann.⁶¹

⁶⁰ Vgl. Shopware AG. *shopware/development - Docker Image*. 2023.

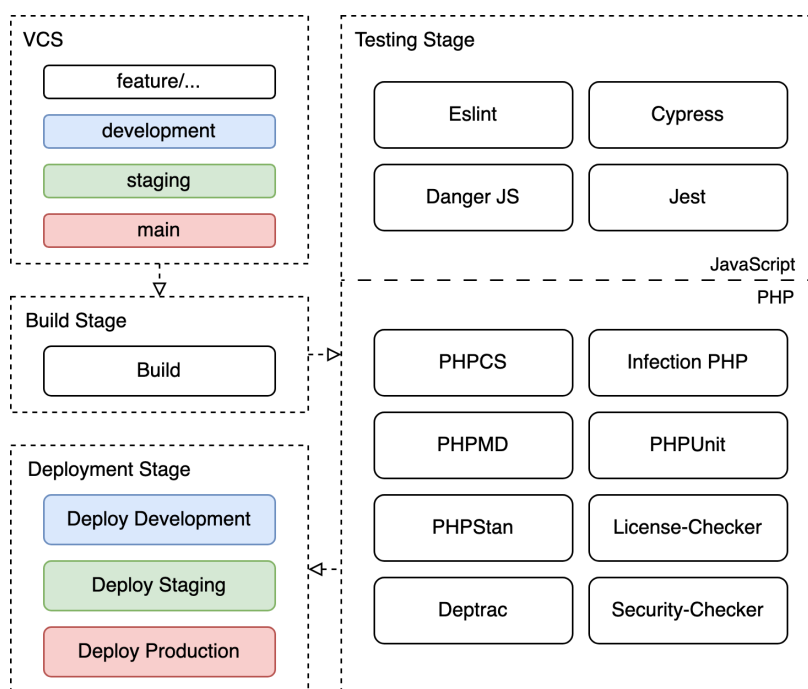
⁶¹ Vgl. Combe, Martin und Di Pietro. „To Docker or Not to Docker: A Security Perspective“. 2016.

Da die CI-Strategie auf dem Betreiben von Shopware in einer isolierten und reproduzierbaren Umgebung zum Ausführen von Testing- und QA-Tools fußt, wurde sich für die Nutzung des von Shopware gestellten Docker-Images in den Pipelines entschieden. Zunächst wird allerdings eine ausführende Umgebung für die CI-Pipelines benötigt. GitLab CI/CD kann zum Verwalten von Pipelines genutzt werden, um auf Änderungen in einem VCS zu reagieren. Der erhoffte Vorteil in der Nutzung des Services liegt in der Breite der Unterstützung, da es sich um eine große und populäre CI-Software handelt, und in der Möglichkeit, die Software selbst zu hosten und verschiedene VCS Anzubinden. Somit ist die Strategie nicht an eine bestimmte VCS-Software gebunden und kann ungeachtet der Plattform in Projekten integriert werden.

Pipelines

Da GitLab CI/CD mit verschiedenen VCS genutzt werden kann, wird sich in der weiteren Konzeption auf die Gestaltung anpassbarer Pipelines mit Hinblick auf unterschiedliche Branching-Strukturen verschiedener

Shopware-Projekte konzentriert. Pipelines reagieren auf Status-Veränderungen in einer VCS-Software und können somit an verschiedene Aktionen geknüpft werden. Zunächst soll eine grundlegende Pipeline definiert werden, die bei jedem Push in einen Branch ohne eine definierte Deployment-Umgebung läuft. Diese Pipeline führt einen Build- und einen Testing-Prozess durch. Im Build-Prozess werden die CI-Tools und die Abhängigkeiten der Shopware-Plattform installiert. Der Testing-Prozess umfasst zu-



Quelle: Eigene Darstellung

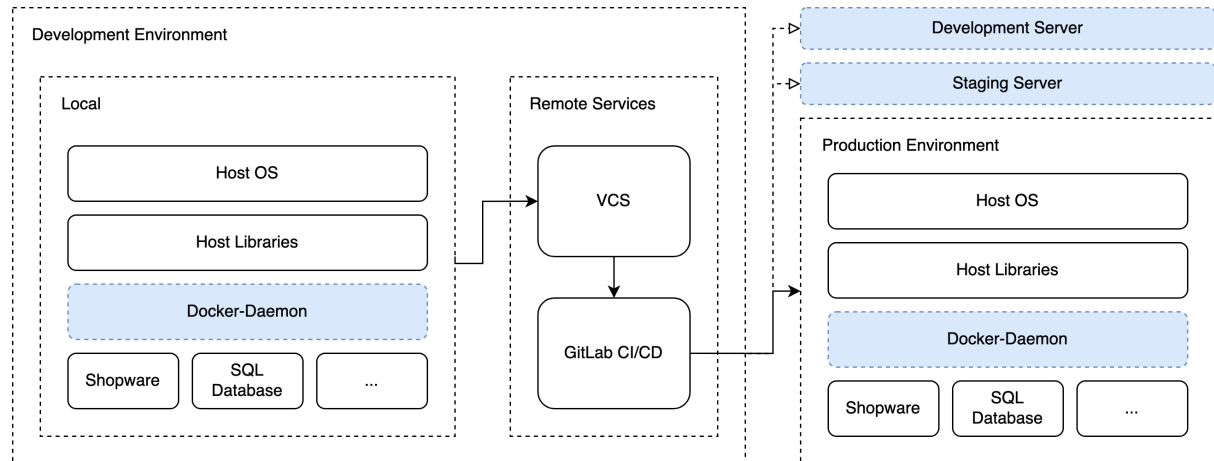
Abbildung 6: Visualisierung der konzipierten CI-Pipeline

zunächst alle für die Strategie ausgewählten Test- und QA-Tools, inklusive lang-andauernder End-to-End-Tests durch Cypress. Im späteren Verlauf der Entwicklung soll die Möglichkeit bestehen, diese Tests nur in Branches mit definierter Deployment-Umgebung durchführen zu lassen, falls dessen Laufzeit zu groß wird. Eine grobe Richtlinie für die maximale Dauer eines CI-Builds ist die Zehn-Minuten-Marke, da viele Entwickler auf das erfolgreiche Durchlaufen der Pipeline warten, bevor sie mit der nächsten Aufgabe beginnen.⁶² In der Regel gibt es in einem Shopware-Projekt der Firma best it bis zu drei Branches, für die eine Umgebung vorgesehen ist: **development**, **staging**

⁶² Vgl. Duvall, Matyas und Glover. *Continuous Integration: Improving Software Quality and Reducing Risk*. 2007, S. 87–88.

und `main`.

Continuous Delivery & Deployment



Quelle: Eigene Darstellung nach Combe, Martin und Di Pietro (2016)

Abbildung 7: Visualisierung der Architektur der konzipierten CI-Strategie

4 Entwicklung der CI-Strategie

5 Evaluierung

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Literaturverzeichnis

- [1] eCommerceDB. *The Most Commonly Used Shop Software Among Online Shops in Germany - Shopware and Salesforce Share Rank No. 1*. eCommerceDB GmbH. 2023. URL: <https://ecommercedb.com/insights/the-most-commonly-used-shop-softwares-among-online-shops-in-germany-shopware-and-salesforce-share-rank-no-1/4210> (aufgerufen am 22.06.2023).
- [2] Mojtaba Shahin, Muhammad Ali Babar und Liming Zhu. „Continuous Integration, Delivery and Deployment: A Systematic Review on Approaches, Tools, Challenges and Practices“. In: *IEEE Access* 5 (2017), S. 3909–3943. DOI: [10.1109/ACCESS.2017.2685629](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2685629).
- [3] Brian Fitzgerald und Klaas-Jan Stol. „Continuous software engineering: A roadmap and agenda“. In: *The Journal of Systems and Software* 123 (2017), S. 176–189. DOI: [10.1016/j.jss.2015.06.063](https://doi.org/10.1016/j.jss.2015.06.063).
- [4] Kent Beck, Mike Beedle, Arie van Bennekum et al. *Manifesto for Agile Software Development*. 2001. URL: <https://agilemanifesto.org/> (aufgerufen am 30.06.2023).
- [5] Lucas Gren und Per Lenberg. „Agility is responsiveness to change“. In: *Proceedings of the Evaluation and Assessment in Software Engineering*. ACM, Apr. 2020. DOI: [10.1145/3383219.3383265](https://doi.org/10.1145/3383219.3383265).
- [6] Martin Fowler. *Continuous Integration*. Fowler, Martin. 2006. URL: <https://martinfowler.com/articles/continuousIntegration.html> (aufgerufen am 26.06.2023).
- [7] Jez Humble und David Farley. *Continuous Delivery: Reliable Software Releases through Build, Test, and Deployment Automation*. Addison-Wesley Signature Series (Fowler). Pearson Education, 2010. ISBN: 978-0-321-67022-9.
- [8] Grady Booch. *Object oriented design with applications*. 1. Aufl. Benjamin/Cummings Pub. Co, 1991. ISBN: 978-0-805-30091-8.
- [9] Kent Beck. „Extreme programming: A humanistic discipline of software development“. In: *Fundamental Approaches to Software Engineering*. Springer Berlin Heidelberg, 1998. DOI: [10.1007/bfb0053579](https://doi.org/10.1007/bfb0053579).
- [10] Omar Elazhary, Colin Werner, Ze Shi Li et al. „Uncovering the Benefits and Challenges of Continuous Integration Practices“. In: *IEEE Transactions on Software Engineering* 48.7 (Juli 2022), S. 2570–2583. DOI: [10.1109/tse.2021.3064953](https://doi.org/10.1109/tse.2021.3064953).
- [11] Sheikh Fahad Ahmad, Mohd Haleem und Mohd Beg. „Test Driven Development with Continuous Integration: A Literature Review“. In: *International Journal of Computer Applications Technology and Research* 2 (Mai 2013), S. 281–285. DOI: [10.7753/IJCATR0203.1013](https://doi.org/10.7753/IJCATR0203.1013).
- [12] Fiorella Zampetti, Simone Scalabrino, Rocco Oliveto et al. „How Open Source Projects Use Static Code Analysis Tools in Continuous Integration Pipelines“. In: *2017 IEEE/ACM 14th International Conference on Mining Software Repositories (MSR)*. 2017, S. 334–344. DOI: [10.1109/MSR.2017.2](https://doi.org/10.1109/MSR.2017.2).
- [13] Paul M. Duvall, Steve Matyas und Andrew Glover. *Continuous Integration: Improving Software Quality and Reducing Risk*. 1. Aufl. Addison-Wesley Signature Series. Pearson Education, 2007. ISBN: 978-0-321-63014-8.

- [14] Omar Elazhary, Margaret-Anne Storey, Neil A. Ernst et al. „ADEPT: A Socio-Technical Theory of Continuous Integration“. In: *2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering: New Ideas and Emerging Results (ICSE-NIER)*. 2021, S. 26–30. DOI: [10.1109/ICSE-NIER52604.2021.00014](https://doi.org/10.1109/ICSE-NIER52604.2021.00014).
- [15] Shopware. *The story behind Shopware AG*. Shopware AG. 2023. URL: <https://www.shopware.com/en/company/story/> (aufgerufen am 25.06.2023).
- [16] Symfony SAS. *Projects using Symfony - Popular PHP projects using Symfony components or based on the Symfony framework*. Symfony SAS. 2023. URL: <https://symfony.com/projects> (aufgerufen am 24.06.2023).
- [17] Gunnard Engebretth und Satej Kumar Sahu. „Introduction to Symfony“. In: *PHP 8 Basics: For Programming and Web Development*. Berkeley, CA: Apress, 2023, S. 273–283. ISBN: 978-1-4842-8082-9. DOI: [10.1007/978-1-4842-8082-9_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-8082-9_15).
- [18] Shopware AG. *Einblicke in die Core Architektur von Shopware 6*. Shopware AG. 2019. URL: <https://www.shopware.com/de/news/einblicke-in-die-core-architektur-von-shopware-6/> (aufgerufen am 03.07.2023).
- [19] Pickware GmbH. *Shopware 6 – Ein Blick auf die neue Architektur*. Pickware GmbH. 2019. URL: <https://www.pickware.com/de/blog/shopware-6-neue-architektur> (aufgerufen am 03.07.2023).
- [20] Shopware AG. *Plugins for Symfony developers*. Shopware AG. 2023. URL: <https://developer.shopware.com/docs/guides/plugins/plugins/plugins-for-symfony-developers> (aufgerufen am 04.07.2023).
- [21] Shopware AG. *Requirements*. Shopware AG. 2023. URL: <https://developer.shopware.com/docs/guides/installation/requirements> (aufgerufen am 06.07.2023).
- [22] GitHub, Inc. *GitHub: Let’s build from here*. 2023. URL: <https://github.com/> (aufgerufen am 06.07.2023).
- [23] GitLab B.V. *The DevSecOps Platform | GitLab*. 2023. URL: <https://about.gitlab.com/> (aufgerufen am 06.07.2023).
- [24] Atlassian Corporation. *Bitbucket | Git solution for teams running Jira*. 2023. URL: <https://bitbucket.org/> (aufgerufen am 06.07.2023).
- [25] Slashdot Media. *Compare, Download & Develop Open Source & Business Software - SourceForge*. 2023. URL: <https://sourceforge.net/> (aufgerufen am 06.07.2023).
- [26] GitHub, Inc. *Features · GitHub Actions · GitHub*. 2023. URL: <https://github.com/features/actions> (aufgerufen am 07.07.2023).
- [27] GitLab B.V. *GitLab CI/CD | GitLab*. 2023. URL: <https://docs.gitlab.com/ee/ci/> (aufgerufen am 07.07.2023).
- [28] Atlassian Corporation. *Bitbucket Pipelines - Continuous Delivery | Bitbucket*. 2023. URL: <https://bitbucket.org/product/features/pipelines> (aufgerufen am 07.07.2023).
- [29] Jenkins. *Jenkins - Build great things at any scale*. 2023. URL: <https://jenkins.io> (aufgerufen am 07.07.2023).

-
- [30] Idera, Inc. *Travis CI - Build Faster*. 2023. URL: <https://www.travis-ci.com/> (aufgerufen am 07.07.2023).
 - [31] Sebastian Bergmann. *PHPUnit – The PHP Testing Framework*. 2023. URL: <https://phpunit.de/> (aufgerufen am 08.07.2023).
 - [32] Meta Platforms, Inc. *Jest · Delightful JavaScript Testing*. 2023. URL: <https://jestjs.io/> (aufgerufen am 08.07.2023).
 - [33] Cypress.io, Inc. *JavaScript Component Testing and E2E Testing Framework | Cypress*. 2023. URL: <https://www.cypress.io/> (aufgerufen am 08.07.2023).
 - [34] Software Freedom Conservancy. *Selenium*. 2023. URL: <https://www.selenium.dev/> (aufgerufen am 08.07.2023).
 - [35] Yue Jia und Mark Harman. „An Analysis and Survey of the Development of Mutation Testing“. In: *IEEE Transactions on Software Engineering* 37.5 (2011), S. 649–678. DOI: [10.1109/TSE.2010.62](https://doi.org/10.1109/TSE.2010.62).
 - [36] Maks Rafalko. *Introduction - Infection PHP*. 2023. URL: <https://infection.github.io/guide/> (aufgerufen am 08.07.2023).
 - [37] OpenJS Foundation. *Find and fix problems in your JavaScript code - ESLint - Pluggable JavaScript Linter*. 2023. URL: <https://eslint.org/> (aufgerufen am 09.07.2023).
 - [38] Orta Therox und Danger JS contributors. *Danger JS*. 2023. URL: <https://danger.systems/js/> (aufgerufen am 09.07.2023).
 - [39] Soner Sayakci. *Danger PHP*. 2023. URL: <https://github.com/shyim/danger-php> (aufgerufen am 09.07.2023).
 - [40] Squiz Labs. *PHP_CodeSniffer*. 2023. URL: https://github.com/squizlabs/PHP_CodeSniffer (aufgerufen am 09.07.2023).
 - [41] Manuel Pichler. *PHPMD - PHP Mess Detector*. 2023. URL: <https://phpmd.org/> (aufgerufen am 09.07.2023).
 - [42] Ondřej Mirtes. *Find Bugs Without Writing Tests | PHPStan*. 2023. URL: <https://phpstan.org/> (aufgerufen am 10.07.2023).
 - [43] QOSSMIC GmbH. *Deptrac*. 2023. URL: <https://github.com/qossmic/deptrac> (aufgerufen am 10.07.2023).
 - [44] madewithlove BV. *CLI Licence checker for composer dependencies*. 2023. URL: <https://github.com/madewithlove/license-checker-php> (aufgerufen am 10.07.2023).
 - [45] Symfony SAS. *Installing & Setting up the Symfony Framework - Checking Security Vulnerabilities*. 2023. URL: <https://symfony.com/doc/current/setup.html#checking-security-vulnerabilities> (aufgerufen am 10.07.2023).
 - [46] Shopware AG. *shopware/development - Docker Image*. 2023. URL: <https://hub.docker.com/r/shopware/development> (aufgerufen am 12.07.2023).
 - [47] Theo Combe, Antony Martin und Roberto Di Pietro. „To Docker or Not to Docker: A Security Perspective“. In: *IEEE Cloud Computing* 3.5 (2016), S. 54–62. DOI: [10.1109/MCC.2016.100](https://doi.org/10.1109/MCC.2016.100).