Ruhr-Universität Bochum

Bachelorarbeit

Entwicklung eines erweiterbaren Kommandozeileninterfaces zur Generierung von Web-Applikationen

Schriftliche Prüfungsarbeit
für die Bachelor-Prüfung des Studiengangs Angewandte Informatik an der Ruhr-Universität Bochum

vorgelegt von
Michael David Kuckuk

am
Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen
Prof. Dr.-Ing. Markus König

Abgabedatum:	19. September 2021
Matrikelnummer:	108 017 207 503
1. Prüfer:	Prof. Dr.-Ing. Markus König
2. Prüfer:	Stephan Embers, M. Sc.

Abstract

Modern web development relies highly on third-party dependencies, such as front-end frameworks or component libraries. Enabling all these dependencies to work together is often a tedious and repetitive task. Therefore, the goal of this work is to automate such initial creation of web projects.

In consideration of current approaches to this problem, a new command-line interface (CLI) tool will be created to guide the user through a small questionnaire, prompting them for their choice of tools and configurations. The questionnaire will both prevent the user from choosing unsupported configurations and provide them with additional helpful information about each question in order to remove entry barriers for new developers. The CLI will then create a new project according to the chosen specifications.

Using aspects of test-driven development, functional programming and graph theory, the implementation will focus on creating an extension-based framework for asking questions and installing dependencies. After also developing a small set of extensions to demonstrate the framework's capabilities, a series of end-to-end tests will be created and executed in order to judge the CLI's success. In the end, the created CLI will be able to successfully install a total set of 56 different configurations.

Erklärung

Ich erkläre, dass das Thema dieser Arbeit nicht identisch ist mit dem Thema einer von mir bereits für eine andere Prüfung eingereichten Arbeit.

Ich erkläre weiterhin, dass ich die Arbeit nicht bereits an einer anderen Hochschule zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht habe.

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, habe ich unter Angabe der Quellen der Entlehnung kenntlich gemacht. Dies gilt sinngemäß auch für gelieferte Zeichnungen, Skizzen, bildliche Darstellungen und dergleichen.

Statement

I hereby declare that except where the specific reference is make to the work of others, the contents of this thesis are original and have not been submitted in whole or in part for consideration for any other degree or qualification in this, or any other university.

This thesis is my own work and contains nothing which is the outcome of work done in collaboration with others, except as specified in the text.

Datum Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

Entwickelnde haben zu Beginn eines neuen Projektes immer erst die Aufgabe, sich eine geeignete Architektur für das Projekt zu überlegen, die sie dann möglichst von Anfang an verfolgen können. In den meisten Programmiersprachen und Umfelden – insbesondere in der Webentwicklung – ist ein Teil dieser Aufgabe die Auswahl von Bibliotheken und Werkzeugen, die bei der Programmierung von Nutzen sein können.

Unter diesen Bibliotheken und Werkzeugen gibt es viele, die besonders häufig verwendet oder in bestimmten Kombinationen empfohlen werden. Beispielsweise verwenden 60,4% der von „State of JS 2020“ Befragten die Bibliothek Axios[1] (ein HTTP-Client, der für Browser und Node.js dasselbe Interface bietet). Unter den Befragten nutzen 89,6% das Werkzeug Node Package Manager (NPM)[2], 82,3% nutzen ESLint[3] (ein Werkzeug zur statischen Codeanalyse) und 70,9% nutzen Prettier[4] (ein Codeformatierer) [24].

Die genauen Konstellationen, in der diese Bibliotheken und Werkzeuge verwendet werden, unterscheiden sich jedoch von Projekt zu Projekt. Sie hängen primär von den Anforderungen des Projekts ab, aber variieren auch je nach persönlicher Präferenz oder aufgrund von Empfehlungen, die in offiziellen Dokumentationen ausgesprochen werden. Beispielsweise wird empfohlen, Angular zusammen mit TypeScript zu verwenden [8].

Nachdem entschieden wurde, welche Konstellation von Bibliotheken und Werkzeugen zu verwenden ist, müssen diese im nächsten Schritt installiert werden und miteinander verknüpft werden, sodass sie alle zusammen funktionieren. Dieser Schritt unterscheidet sich von klassischen Entwicklungsaufgaben, da hierbei Probleme wie Laufzeitanalyse oder Graphentheorie keine Rolle spielen. Stattdessen müssen Konfigurationsdateien erzeugt werden, Objekte müssen in gewissen Reihenfolgen initialisiert werden und Werkzeuge müssen in den Kompilierprozess eingebunden werden, der je nach Konstellation der Werkzeuge zunächst eingerichtet werden muss.

Ziel dieser Arbeit ist es, diese initiale Projektgenerierung zu automatisieren. Über ein Command Line Interface (CLI) sollen zunächst einige Fragen gestellt werden, durch die festgestellt wird, welche genaue Konstellation von Bibliotheken und Werkzeugen installiert werden soll. Entsprechend dieser Spezifikation soll dann ein Projekt erzeugt werden, in dem keine weitere Verdrahtung mehr notwendig ist und in dem sofort alle Bibliotheken und Werkzeuge verwendet werden können.

Es gibt bereits mehrere Projekte, die sich ebenfalls dieser Aufgabe widmen und auf die im späteren Verlauf der Arbeit näher eingegangen wird. Diese haben jedoch den Nachteil, dass sie nur begrenzte Unterstützung für Bibliotheken und Werkzeuge liefern. Manche der Projekte bieten eine Möglichkeit zur Erweiterung um neue Bibliotheken und Werkzeuge an, jedoch sind derartige Erweiterungen nicht schon bei der Projektinitia-

[1] `https://www.npmjs.com/package/axios`

[2] NPM genießt jedoch als offizieller Node.js-Paketmanager eine Sonderstellung. Daher ist diese Zahl nur begrenzt mit anderen Verwendungsquoten vergleichbar.

[3] `https://www.npmjs.com/package/eslint`

[4] `https://www.npmjs.com/package/prettier`

lisierung verwendbar und müssen daher in weiteren Schritten nach der Initialisierung ausgeführt werden.

Neben der beschriebenen Erleichterung des Installationsprozesses bieten derartige CLIs auch den Vorteil, dass sie Einsteigenden bei der Entdeckung neuer Werkzeuge und Bibliotheken helfen können. Im Jahr 2019 gab es bereits über 1,3 Millionen NPM-Pakete [9]. Diese Zahl erschwert besonders am Anfang das Auswählen sinnvoller Pakete.

Durch ein CLI kann eine Vorauswahl dieser Pakete getroffen werden, die leichter von Einsteigenden überblickt werden kann. Zudem können der Vorauswahl weitere Informationen wie Abhängigkeiten zwischen Bibliotheken oder Links zu zugehörigen Dokumentationsseiten angehängt werden, die das Treffen einer Auswahl zusätzlich erleichtern.

Im Rahmen dieser Arbeit wird daher ein solches CLI namens generate-web-app (GWA) entwickelt. Es soll in der Lage sein, leicht verständliche Fragen zu stellen und basierend auf den Antworten ein funktionsfähiges Projekt zu erzeugen. Bei der Konzeptionierung und Entwicklung wird ferner darauf geachtet, dass GWA leicht erweitert werden kann, um die Einbeziehung zukünftiger oder zum Entwicklungszeitpunkt nicht berücksichtigter Bibliotheken und Werkzeuge zu ermöglichen.

Bevor mit der Konzeptionierung von GWA begonnen wird, wird der Stand der Technik erläutert. Dies umfasst neben einigen Grundlagen, die zum besseren Verständnis der Arbeit beitragen, eine Vorstellung der bereits erwähnten Projekte mit ähnlicher Zielsetzung.

Daraufhin wird analysiert, welche Anforderungen genau von GWA erfüllt werden sollen. Hierfür werden zunächst die Vor- und Nachteile der bereits existierenden Projektgeneratoren analysiert. Daraufhin wird eine Auswahl der zu verwendenden Technologien getroffen und es werden erste Pläne zur Gestaltung des Ablaufs und des Datenmodells angefertigt.

Der Fokus der Arbeit liegt auf der Implementierung von GWA. In diesem Zusammenhang wird das allgemeine Vorgehen bei der Entwicklung erläutert. Es werden einige zentrale Probleme untersucht, für die verschiedene Lösungsoptionen ausgearbeitet und diskutiert werden und von denen anschließend eine ausgewählt und umgesetzt wird.

Abschließend wird evaluiert, ob die gesetzten Ziele erfüllt werden konnten. Es wird diskutiert, welche Probleme weiterhin bestehen und womit sich zukünftige Forschung auseinandersetzen könnte.

2 Stand der Technik

Um die Implementierung der Arbeit vollständig nachvollziehen zu können, ist es wichtig, einige Konzepte verstanden zu haben und zu wissen, worauf die Entwicklung aufbauen wird. Diese Grundlagen werden im Folgenden eingeführt und erläutert.

2.1 Kommandozeileninterfaces

Die erste weit verbreitete Art von Computerprogrammen waren sogenannte Kommandozeileninterfaces (CLIs). In der Kommandozeile konnten diese Programme über ihren Namen bzw. ihren Speicherort aufgerufen werden, wobei zusätzliche Argumente übergeben werden konnten, um den Ablauf des Programms zu beeinflussen[28].

Diese Benutzweise birgt verschiedene Vor- und Nachteile. A priori bietet sie keine Entdeckbarkeit für verschiedene Funktionalitäten eines Programms. Erst durch die Einrichtung eines weiteren Befehls bzw. einer Konfigurationsoptionen kann Nutzenden anstelle der ordinären Ausführung des Programms eine Liste aller seiner Nutzungsmöglichkeiten angezeigt werden. Nutzende müssen aber auch diesen Befehl kennen, um ihn ausführen zu können.

Dafür lassen sich derartige Befehle sehr leicht automatisiert ausführen, da sie ohne weiteres in Skripte eingebunden werden können. Um eine automatische Ausführung grafischer Benutzungsoberflächen zu ermöglichen, müsste dahingegen die Benutzung einer Computermaus oder Tastatur simuliert werden [27].

Seit diesen Anfängen von CLIs ist es jedoch möglich geworden, im Rahmen eines CLIs weitere Nutzereingaben wie die Verwendung von Tastatur und Maus zu verarbeiten. So können Nutzerinteraktionen ermöglicht werden, die einer grafischen Benutzeroberfläche gleich kommen. Beispielsweise ist es möglich, in der Kommandozeile sich eine Weltkarte anzuzeigen, die mit Maus und Tastatur bedienbar ist [17].

Heutzutage bieten CLIs daher den Vorteil, dass sie weiterhin leicht automatisierbar sind und dennoch Interaktivität und damit Entdeckbarkeit der Funktionen ermöglichen. Um die Umsetzung derartiger Interaktivität zu erleichtern, gibt es zahlreiche Bibliotheken.

2.2 Einführung in Frontend-Frameworks für Webapplikationen

Die Entwicklung interaktiver Webapplikationen erfolgt mittels HTML, CSS und JavaScript. Browser stellen den mit HTML definierten Inhalt dar, manipulieren das Aussehen der Seite anhand der durch CSS definierten Regeln und verfügen zudem über einen JavaScript Interpreter, der den übermittelten JavaScript Code ausführen kann und dadurch eine Manipulation der Seiteninhalte erlaubt.

Durch diese Möglichkeit ergibt sich das Problem, dass die Daten, die das Programm berechnet (oder auf andere Weise erlangt) Nutzenden korrekt dargestellt werden und umgekehrt Eingaben von Nutzenden in den Daten widergespiegelt werden sollen.

Beim Entwickeln solcher Funktionalität wiederholen sich häufig bestimmte Probleme wie die Synchronisierung von Daten mit der Anzeige oder die Wiederverwendung von Teilen der Nutzeroberfläche. Diese Probleme können mit Hilfe von Frontend-Frameworks gelöst werden.

Zur Zeit gibt es vor allem drei Frameworks, die häufig verwendet werden: React, Angular und Vue [24]. Angular und Vue bauen dabei auf dem Model View ViewModel

(MVVM)-Pattern auf [3]. Dort kann jeweils in einer Variation von HTML, in der bestimmte JavaScript- bzw. TypeScript-Ausdrücke interpretiert werden können, die View aufgebaut werden. Die Funktionalität des ViewModels wird in einem zur View gehörenden JavaScript- bzw. TypeScript-Block implementiert und das Model kann über weitere Klassen dargestellt werden. Während in Angular View, ViewModel und Model in verschiedene Dateien aufgeteilt werden, sind in Vue die View und das ViewModel in derselben Datei zu vereinen.

React hingegen verfolgt nicht so strikt das MVVM-Pattern. Hier wird durch die freiwillige, aber empfohlene Verwendung zusätzlicher Syntax ermöglicht, eine Variante von HTML-Ausdrücken in JavaScript bzw. TypeScript einzufügen, die dann wie andere Werte auch in Variablen gespeichert werden können [19]. Auf diesem Weg wird parallel zum eigentlichen Document Object Model (DOM) ein sogenanntes Virtual DOM generiert, das dann in das eigentliche DOM überführt wird. Somit ist es in React möglich, View und Controller komplett miteinander zu vereinen.

Alle drei dieser Frameworks ermöglichen eine komponentenbasierte Entwicklung. Das bedeutet, dass mit sehr geringem Aufwand die View in Komponenten unterteilt werden kann, die dann wiederverwendet werden können.

Aus diesen und weiteren Gründen verwenden die meisten Webentwickelnden Frontend-Frameworks um darauf ihre Projekte aufzubauen [24]. Da jedes Framework aber mehr oder weniger klare Strukturen, Datenflüsse, Syntaxen und vieles mehr vorgibt, ist die Entscheidung eines Frameworks in Bezug auf die Suche weiterer Abhängigkeiten eine sehr folgenschwere Entscheidung.

Beispielsweise ist es im Rahmen der empfohlenen Installationsprozesse nicht möglich, Angular ohne TypeScript oder React ohne ESLint zu verwenden [8] [18]. Für alle drei der genannten Frameworks gibt es Komponentenbibliotheken[5], die Google's Material Design System folgen; allerdings sind diese Bibliotheken sehr verschieden, haben unterschiedliche Features und gehen nicht aus demselben Code hervor.

Die Entscheidung eines Frameworks ist daher eine der ersten Entscheidungen, die Entwickelnde beim Einrichten ihrer Projekte treffen müssen. Sie schränkt die weitere Auswahl an Werkzeugen und Bibliotheken ein. Außerdem können, bis auf in besonderen Kontexten wie Micro-Frontends oder WebComponents, nur mit hohem Aufwand oder gar nicht zwei Frameworks zusammen verwendet werden.

2.3 Ähnliche Projektgeneratoren

Um das Problem der initialen Projektkonfiguration zu automatisieren oder zumindest zu erleichtern, bieten die drei oben erwähnten Frameworks jeweils ein Programm an, was zur initialen Erstellung von Projekten mit dem jeweiligen Framework empfohlen wird. Einige dieser Programme sind darüber hinaus in der Lage, auch nach dieser initialen

[5] Material-UI für React: `https://material-ui.com/`; Angular Material für Angular: `https://material.angular.io/`; Vuetify für Vue: `https://vuetifyjs.com/en/`

Erstellung Änderungen am Code vorzunehmen. Diese Funktionalität ist jedoch für GWA nicht geplant und wird daher nicht näher betrachtet.

2.3.1 React

In der Dokumentation für React wird empfohlen, neue Projekte über das CLI create-react-app (CRA) zu erstellen. Dieses kann per NPM installiert werden und ist dann in der Lage, den Inhalt eines angegebenen Templates (oder eines Standardtemplates) in ein spezifiziertes Verzeichnis zu kopieren. Daraufhin werden die benötigten Abhängigkeiten per NPM oder mittels eines anderen installierten Paketmanagers (wie z.B. Yarn[6]) installiert.

Dritten ist es möglich, eigene Templates für CRA zu erzeugen, die dann wie Erstanbietertemplates zur Erzeugung des neuen Projekts genutzt werden können. Wenn also mittels CRA ein Projekt erzeugt werden soll, das bereits bei seiner Erzeugung mit gewissen Bibliotheken oder Werkzeugen ausgestattet wird, muss dafür zuvor ein entsprechendes Template erstellt worden sein. Die Wahrscheinlichkeit, dass dies jedoch bereits geschehen ist, sinkt mit der Spezifität der Wünsche.

Die Erstanbietertemplates geben bereits die empfohlene Ordner- und Dateistruktur für React-Projekte vor; durch Drittanbietertemplates kann hiervon aber abgewichen werden. Außerdem installieren die Erstanbietertemplates bereits einige weitere Werkzeuge wie ESLint, Jest (ein Werkzeug zum Schreiben und Ausführen von automatisierten Tests; siehe Kapitel 3.1.1) und die sogenannten react-scripts. Diese sind eine Sammlung von kleinen Skripten und Abhängigkeiten, die Prozesse automatisieren, die für die Entwicklung notwendig sind. Beispielsweise wird hierüber ein Skript zur Verfügung gestellt, welches einen lokalen Server startet, der den aktuellen Stand der Webapplikation hostet und bei jeder Codeänderung automatisch aktualisiert. Dieser Server gibt zudem auch die Warnungen aus, die ESLint erzeugt.

Außerdem ist es bei der Verwendung dieser Templates mit geringem Aufwand möglich, bestimmte empfohlene Bibliotheken und Werkzeuge nachzurüsten. So gibt es zum Beispiel Anleitungen für die Installation von Prettier oder von CSS Präprozessoren, die aus jeweils einem in der Kommandozeile auszuführenden Befehl bestehen. Für Prettier muss zudem noch eine bestimmte, bereits existierende Datei um einige vorgegebene Zeilen ergänzt werden.

2.3.2 Angular

Das Angular-Team stellt das sog. Angular-CLI zur Verfügung, das Entwickelnden beim Programmieren verschiedene wiederkehrende und repetitive Aufgaben abnehmen soll (wie z.B. die Erstellung und Einbindung neuer Komponenten). Neben diesen Aufgaben wird das Tool auch zur Erzeugung neuer Angular-Projekte genutzt.

[6] `https://yarnpkg.com/`

Der Befehl `ng new <project-name>` führt Nutzende in einen Dialog, bei dem zwei Fragen zur gewünschten Konfiguration des Projektes gestellt werden. Über explizit gesetzte Kommandozeilenoptionen können dann insgesamt ??? Features konfiguriert werden, mit denen das Projekt eingerichtet wird. Diese Features sind jedoch allesamt Angular-intern, d.h. es gibt keine Möglichkeit weitere Libraries oder ähnliches installieren zu lassen, die nicht direkt vom Angular Team kommen. Selbst einige Libraries (z.B. Angular Material), die vom Angular-Team direkt entwickelt werden, sind nicht in diese initiale Projektgenerierung eingebunden. Eine Ausnahme hiervon bildet die Auswählbarkeit der CSS-Präprozessoren SCSS, Sass und Less.

Im Gegensatz zu CRA sind hier die Möglichkeiten, die Nutzenden bei der initialen Projekterstellung geboten werden, sehr eingeschränkt. Es gibt die Möglichkeit, bei der Einrichtung eine sogenannte „Collection“ anzugeben, die dann die Erstellung des eigentlichen Projektes übernimmt. Es könnte also eine Collection entwickelt werden, die weitere Libraries je nach Eingabe einbindet. Jedoch scheint die Umsetzung dieses Features abzunehmen: von den überprüften Collections für ESLint, Prettier und Apollo-Angular hat nur eine dieses Feature (also die Installation während statt nach der Initialisierung) jemals unterstützt. Mittlerweile ist aber auch diese Unterstützung eingestellt worden [13][7] [7] [25].

Im Gegensatz zu der React-Lösung können sich Nutzende hier (im Rahmen der beschränkten angebotenen Optionen) eine beliebige Konfiguration aussuchen und sind nicht darauf angewiesen, dass jemand vor ihnen schon denselben Wunsch hatte. Außerdem wird durch die gestellten Fragen auch Anfänger:innen die Entdeckung empfohlener Pakete und der Einstieg in Angular erleichtert, da ihnen gewisse Features automatisch vorgestellt werden.

2.3.3 Vue

Von den drei Frameworks bietet Vue in Bezug auf die Projekterstellung das umfangreichste CLI. Zuallererst besteht die Möglichkeit, ein Preset auszuwählen. Dies kann eines von zwei Standardpresets sein oder eines, das zuvor auf dem lokalen Computer erstellt und gespeichert wurde. Es ist auch möglich, ein bereits existierendes Preset oder ein komplett neues Preset als Kommandozeilenparameter anzugeben, um diese Frage zu überspringen.

Falls kein Preset ausgewählt wird, ist zunächst im Rahmen einer Multiple-Choice-Frage eine Vorauswahl von zehn Features zu treffen, die im Projekt gewünscht bzw. nicht gewünscht sind. Daraufhin werden zu den ausgewählten Features detailliertere Fragen gestellt. Insgesamt stehen durch das Vue-CLI Tool über 20 verschiedene Bibliotheken bzw. Werkzeuge ohne weiteren Konfigurationsaufwand zur Verfügung. Die soeben erstellte Konfiguration kann anschließend als neues Preset gespeichert werden.

[7] Dies verdeutlicht insbesondere folgender Kommentar des Projekteigentümers: `https://github.com/angular-eslint/angular-eslint/issues/395#issuecomment-821991202`

Wie im Angular-CLI können auch hier CSS-Präprozessoren und ein Framework-spezifischer Router in das Projekt eingebunden werden. Darüber hinaus besteht jedoch eine Auswahl aus verschiedenen Werkzeugen zur statischen Codeanalyse, verschiedenen Bibliotheken und Werkzeugen sowohl für Unit- als auch für Ende-zu-Ende-Tests und weiteren vereinzelten Bibliotheken und Features.

2.4 Funktionale Programmierung

Die Funktionale Programmierung ist ein Programmierparadigma, das ursprünglich der Mathematik entstammt. Wie der Name vermuten lässt, basiert in der funktionalen Programmierung alles auf Funktionen. Diese unterscheiden sich jedoch von dem Begriff einer Funktion, der sonst in der Informatik geläufig ist.

Die Funktionale Programmierung versteht Funktionen in einem eher mathematischen Sinne. Eine Funktion bestimmt also basierend auf bestimmten Eingaben bestimmte Ausgaben. Wichtig ist hierbei, dass bei gleicher Eingabe die Ausgabe auch stets gleich ist. Außerdem darf die Funktion keine Seiteneffekte haben [4].

Derartige Funktionen dürften also beispielsweise nicht über die Konsole Ausgaben an Nutzende tätigen, da dies ein Seiteneffekt wäre. Eine Funktion, die die aktuelle Uhrzeit zurückgibt, wäre ebenfalls keine Funktion im mathematischen Sinne, da sie bei gleichbleibenden Eingaben verschiedene Ausgaben erzeugen würde.

An diesen Stellen unterscheidet sich die Funktionale Programmierung grundlegend von der Objektorientierten Programmierung. Ihr zugrunde liegen Klassen, die über Attribute und Methoden, also Funktionen mehr im klassischen, informatischen Sinne, verfügen. Eine Methode verändert in der Regel Attribute ihres OBjekts oder liest sie aus. Diese Methoden haben daher im allgemeinen nicht das Ziel, keine Seiteneffekte zu verursachen oder bei gleicher Eingabe immer die gleiche Ausgabe zu erzeugen.

In der Funktionalen Programmierung wird auch auf weitere Konzepte, die aus der Objektorientierten Programmierung bekannt sind, verzichtet. So gibt es hier keine Variablen, die modifiziert werden können, sondern es können von Funktionen nur unveränderliche Parameter entgegengenommen und neue Werte zurückgeben werden. Zudem wird auf Schleifen verzichtet; äquivalente Funktionalität kann jedoch durch Rekursion implementiert werden [4].

Die Einschränkungen der Funktionalen Programmierung bieten einige Vorteile. Während in der Objektorientierten Programmierung oft nicht ersichtlich ist, warum eine Variable zu einem gewissen Zeitpunkt einen gewissen Wert hat, lässt sich in der Funktionalen Programmierung durch eine einfache Rückverfolgung der Funktionsaufrufe ermitteln, wo jeder Wert bestimmt worden ist.

Darüber hinaus sind Funktionen der funktionalen Programmierung oft besser testbar [4] [6]. Dies liegt unter anderem daran, dass nur die Eingabewerte übergeben werden müssen und die Ausgabe überprüft werden muss. Bei Objektorientierter Programmierung müssen vor der Ausführung von Tests eventuelle Seiteneffekte verhindert werden und weitere Initialisierungen, beispielsweise von Attributen des Objektes, getroffen werden.

Die Entscheidung über die Verwendung Funktionaler Programmierung muss jedoch nicht binär sein. Viele Programmiersprachen, darunter auch JavaScript und folglich TypeScript, ermöglichen das Schreiben von funktionalem Code und verfügen gleichzeitig über Syntax für Objektorientierte Programmierung [6].

Daher ist es möglich, ausgewählte Teile von Programmen nach Funktionaler Programmierung zu entwickeln und an anderen Stellen bewusst auf einzelne oder gar sämtliche Aspekte des Paradigmas zu verzichten. So kann an jeder Stelle des Codes eine individuelle Abwägung über die Vor- und Nachteile der Paradigmen vorgenommen und jeweils die nutzvollste Kombination verwendet werden.

2.5 Testgetriebene Entwicklung

Der Begriff der Testgetriebenen Entwicklung, im Englischen auch Test-driven Development (TDD) genannt, bezeichnet ein bestimmtes Vorgehen beim Programmieren, das zu zuverlässigerem Code führen soll und dazu beitragen soll, dass weniger ungebrauchter Code geschrieben wird [2].

Während der Entwicklung werden wiederholt drei Phasen durchlaufen. Zunächst wird ein automatisierter Test geschrieben, der eine noch nicht implementierte Funktionalität testet. Diese erste Phase wird erst beendet, wenn der Test fehlschlägt. So wird garantiert, dass der Test nicht versehentlich immer funktioniert (z.B. weil er versehentlich eine andere, bereits implementierte Funktionalität testet).

In der zweiten Phase wird dann die gewünschte Funktionalität implementiert. Hierbei wird jedoch darauf geachtet, dass nur so viel Code geschrieben wird, wie notwendig ist, um den zuvor geschriebenen Test bestehen zu lassen. Hierbei wird jeder Anspruch auf Codequalität außer Acht gelassen, sodass der Fokus darauf liegt, mit minimalem Aufwand den Test zu beheben.

Im Anschluss an die zweite Phase liegt eine Lösung vor, die alle bisherigen Kriterien erfüllt, da sie den zuvor geschriebenen Test und alle präexistenten Tests besteht. Diese Lösung muss zunächst gesichert werden, bevor in der dritten Phase der Code aufgeräumt werden kann. In diesem Schritt können Verbesserungen der Codequalität, der Laufzeit oder sonstiger Kriterien vorgenommen werden. Es ist jedoch bei allen Änderungen stets darauf zu achten, dass weiterhin kein Test fehlschlägt. Sollte dies dennoch geschehen, so kann jederzeit der Code auf den Stand von Phase 2 zurückgesetzt und erneut mit Phase 3 begonnen werden.

Nach der dritten Phase ist somit Code entstanden, der sämtlichen Qualitätsansprüchen genügt. Er ist außerdem durch automatische Tests abgedeckt, von denen bekannt ist, dass sie bei Entfernung des Features fehlschlagen würden. Dieser Stand ist nun zu Sichern, bevor die Entwicklung des nächsten Features erneut mit der ersten Phase beginnt.

3 Konzeptionierung

Angesichts dessen, dass das geplante CLI verschiedenste Bilbiotheken und Werkzeuge unterstützen können soll und dabei auch zukunftssicher bleiben soll, ist es unabdingbar, die Entwicklung im Vorhinein zu planen. Hierfür muss zunächst untersucht werden, welche Gemeinsamkeiten und welche Unterschiede bei verschiedenen Installationsprozessen vorliegen. Daraufhin kann dann ein System erarbeitet werden, was die Gemeinsamkeiten fördert und gleichzeitig Raum für die bekannten, aber auch möglichst für erwartbare unbekannte Unterschiede lässt.

3.1 Auswahl der zu vergleichenden Installationsprozesse

Um zu bestimmen, welche Schritte bei der Einrichtung von neuen Projekten durchführbar sein müssen, werden zunächst verschiedenste Projekte erstellt, zu denen dann möglichst verschiedene Abhängigkeiten und Werkzeuge hinzugefügt werden.

Aufgrund der bereits erläuterten Beliebtheit von Frontend-Frameworks wird für jedes der drei bekanntesten Framework ein Projekt erstellt, in dem dann die entsprechenden Installationen durchgeführt werden. Für diese initiale Erstellung wird jeweils das bereits vorgestellte CLI verwendet.

Bei der Auswahl dessen, was zu diesen Projekten hinzugefügt wird, liegt der Fokus zum einen auf Bekanntheit und Verbreitung und zum anderen auf Vielseitigkeit. Da sich ähnliche Werkzeuge oft auch in ihrem Installationsprozess ähneln (beispielsweise sind die Schritte zur Installation von ESLint fast identisch zu den Schritten zur Installation von TSLint[8]), ist es für diese Vorbereitung also nicht nötig, eine Abhängigkeit hinzuzufügen, wenn bereits eine andere betrachtet wird, die einen ähnlichen Funktionsumfang hat.

3.1.1 Untersuchte Werkzeuge

Aus diesen Gründen werden sechs verschiedene Werkzeuge installiert. Das erste dieser Werkzeuge ist ESLint, ein Werkzeug zur statischen Codeanalyse für JavaScript. Es gibt Warnungen aus, wenn bestimmte Ausdrücke verwendet werden, die häufig zu Bugs führen (z.B. die Verwendung von einem doppelten Gleichheitszeichen anstelle eines dreifachen Gleichheitszeichens, d.h. die typunsichere Gleichheitsüberprüfung anstelle der Gleichheitsprüfung mit Berücksichtigung der Typgleichheit).

ESLint verfügt auch über die Möglichkeit, Formatierungspräferenzen anzugeben. Diese werden in die Analyse mit einbezogen und darüber können beispielsweise Warnungen ausgegeben werden, wenn Zeilen falsch eingerückt sind. Einige Warnungen, darunter die meisten Warnungen zur Formatierung, können von ESLint auf Wunsch automatisch behoben werden. Standardmäßig ist ESLint jedoch nur passiv und verändert keine Dateien.

ESLint wird stellvertretend für alle Werkzeuge zur statischen Codeanalyse überprüft. Insbesondere entfällt deshalb die Überprüfung von TSLint; zumal das Projekt veraltet ist

[8] `https://palantir.github.io/tslint/`

und die Entwicklung zugunsten von ESLint aufgegeben wurde [1] [20]. Da es aber noch automatisch mit Angular zusammen installiert wird, hätte seine Überprüfung dennoch in Betracht gezogen werden können.

Des weiteren wird Prettier untersucht. Dies ist ein Codeformatierer, der unter freiwilliger Angabe von Konfigurationseigenschaften Code einheitlich formatiert (d.h. Einrückungen werden korrigiert, Leerzeichen vor oder hinter Klammern eingefügt bzw. entfernt etc.). Gegenüber ESLint hat Prettier den Vorteil, nicht nur JavaScript-basierten Code, sondern auch andere Dateiformate wie Markdown oder CSS verstehen und formatieren zu können.

Darüber hinaus kann Prettier auch ohne Konfiguration (d.h. ohne Festlegung von Präferenzen) aufgerufen werden, um Code zu formatieren. ESLint hingegen muss ausgiebig konfiguriert werden, damit Code formatiert werden kann. Zudem hat Prettier in Bezug auf Formatierung mehr Einstellmöglichkeiten als ESLint. Gleichzeitig gibt es jedoch gewisse Aspekte der Formatierung, die von Prettier vorgegeben werden und nicht konfigurierbar sind.

Als drittes wurden SCSS und Sass[9] betrachtet. Dies sind zwei Dialekte desselben CSS-Präprozessors. Dieser Präprozessor erweitert die CSS-Syntax um eine weitere Art von Variablen, Verschachtelung, sogenannten „Mixins“ und weitere Features. Zur Kompilierzeit wird daraus normales CSS erzeugt. Dank der zusätzlichen Funktionen kann kompakteres, wiederholungsfreieres und oft auch leserlicheres CSS geschrieben werden.

Zugunsten von SCSS / Sass wurde auf die weitere Überprüfung anderer CSS-Präprozessoren verzichtet.

Mit Jest wurde außerdem eine Bibliothek zum Schreiben und Ausführen automatisierter Tests untersucht. Diese werden in Node.js ausgeführt und verfügen daher a priori nicht über browserspezifische APIs (wie z.B. Zugriff auf Canvas-Elemente). Viele dieser Funktionalitäten sind aber ggf. über weitere Bibliotheken Nachrüstbar. In der Regel wird Jest für Unittests verwendet; je nach Projekt kann es aber auch für andere Arten von Tests verwendet werden.

Im Vergleich zu ähnlichen Werkzeugen vereint Jest verschiedene Funktionalitäten, die sonst über mehrere Abhängigkeiten aufgeteilt sind. Wo sonst der Ausführer der Tests von der Bibliothek zur Aufstellung und Überprüfung von Annahmen (Engl.: „Assertion Library“) und der Mockingbibliothek getrennt ist und zur Erzeugung eines Berichtes über die Testabdeckung eine weitere Bibliothek notwendig ist, vereint Jest all diese Features unter einer einzigen Bibliothek.

Seit 2019 ist Jest das meist verbreitetste Werkzeug zum Schreiben von JavaScript-Tests [24] und unterstützt dabei alle drei Frameworks. Außerdem ist seine Installation vergleichsweise sehr simpel, da hier nicht mehrere Werkzeuge zusammen installiert und miteinander eingerichtet werden müssen. Da diese höhere Komplexität also vermeidbar ist, werden andere Bibliothekskombinationen für Unittests nicht näher betrachtet.

Cypress, das vierte Werkzeug, dessen Installation betrachtet wird, ist ein weiteres

[9] `https://sass-lang.com/`

Werkzeug zum Schreiben automatisierter Tests. Allerdings weist es den wichtigen Unterschied zu Jest auf, dass die Tests im Browser anstatt von Node.js ausgeführt werden. Somit eignet sich Cypress vor allem zum Schreiben von Ende-zu-Ende-Tests, da hier die Applikation vollständig ausgeführt werden kann und lediglich die Nutzerinteraktion simuliert werden muss.

Aktuell ist Cypress in der Lage, Chromium-basierte Browser und Firefox zu kontrollieren. So können entsprechende Ereignisse in einem Browser so ausgelöst werden, dass sie nicht (in relevantem Ausmaß) von tatsächlichen Userinteraktionen unterschieden werden können. Außerdem stehen in diesen Tests die Browser-APIs in vollem Umfang zur Verfügung.

Seit 2020 wird Cypress öfter als vergleichbare Projekte wie Puppeteer, WebdriverIO, Selenium oder Playwright verwendet [24], weshalb diese zugunsten von Cypress nicht weiter berücksichtigt werden.

Zum Schluss werden Husky und lint-staged untersucht. Diese stellen eine Kombination von Werkzeugen dar, die die Ausführung anderer Werkzeuge als Reaktion auf bestimmte Ereignisse ermöglichen.

Einige der zuvor aufgeführten Werkzeuge bieten Leistungen an, die dabei helfen können, sicherzustellen, dass sämtlicher in ein Versionskontrollsystem bzw. Engl.: Version Control System (VCS) eingepflegter Code immer gewissen Standards entspricht. Die automatischen Tests können beispielsweise garantieren, dass kein zuvor existierendes (und von Tests abgedecktes) Feature kaputt gemacht worden ist, und Prettier und ESLint können garantieren, dass der Code einem gewissen Stil entspricht. Andere Werkzeuge wie CSS-Präprozessoren hingegen bieten in dieser Hinsicht keine weiteren Vorteile.

Um die Qualität des Codes auf einem möglichst hohen Niveau zu halten, kann es also sinnvoll sein, diese entsprechenden Werkzeuge automatisch vor der Einpflegung des Codes in ein VCS ausführen zu lassen. Genau diese Möglichkeit bietet Husky, sofern als VCS Git verwendet wird. Diese Annahme lässt sich durchaus treffen, da Git mit einer Nutzungsquote von 94,41% unter professionellen Entwickelnden das am weitesten verbreitete VCS ist [26].

Mithilfe von Husky lassen sich mit wenig Konfigurationsaufwand Skripte festlegen, die vor dem Persistieren von Code in Git ausgeführt werden sollen. Scheitert eines dieser Skripte, so wird der Persistiervorgang abgebrochen. Lint-staged erleichtert hierbei das Überprüfen der geänderten Dateien, sodass bei jeder Änderung nicht der gesamte Code sondern nur geänderte Stellen geprüft werden müssen. Dennoch kann die Ausführung dieser Prozesse den Speichervorgang verzögern, was bei großen Projekten unerwünscht sein kann.

Aufgrund dessen, dass diese beiden Werkzeuge empfohlen werden, um Prettier automatisch vor entsprechenden Vorgängen laufen zu lassen, und da ihre Verwendung sich leicht auf zusätzliche Werkzeuge erweitern lässt, werden Husky und lint-staged vergleichbaren Alternativen vorgezogen.

3.1.2 Untersuchte Bibliotheken

Neben den Werkzeugen wurden von insgesamt vier Bibliotheken bzw. Bibliotheksarten die Installationsprozesse betrachtet.

Die erste solche Bibliotheksart sind Router. Jedes der drei Frameworks verfügt über eine Unterbibliothek um verschiedene Routen einzurichten. Durch sie kann ohne ein Neuladen der Seite die URL gewechselt werden, diese Änderung auch im Browserverlauf widergespiegelt werden und auch schon beim Aufruf einer Unter-URL direkt die entsprechende Komponente angezeigt werden. Schon die Tatsache, dass die Installation eines Routers in Angular- und Vue-Projekten schon bei der initialen Einrichtung ausgelöst werden kann, zeigt, dass Router sehr häufig verwendet werden. Für ein jeweiliges Framework gibt es außerdem in der Regel genau einen geläufigen Router, sodass hier keine besondere Bevorzugung stattgefunden hat. Stattdessen wurden alle drei Router gleichermaßen untersucht.

Als zweite Bibliothek wurde Redux untersucht. Wie bereits erläutert, verfügt React nicht über eine empfohlene Methode zum zentralen Statemanagement. Diese Lücke kann jedoch von Redux gefüllt werden. Mithilfe dieser Bibliothek kann ein zentraler sogenannter „Store“ erzeugt werden. Dieser kann modifiziert werden, indem an anderer Stelle eine sogenannte „Action“ erzeugt, ggf. mit Nutzdaten angereichert und an den Store weitergeleitet wird. Daraufhin werden sogenannte „Reducer“ aufgerufen, die den aktuellen Wert des Stores und die aktuelle Action entgegennehmen und einen neuen, entsprechend der Action und ggf. der Nutzdaten aktualisierten Store zurückgeben.

Diese Reducer sind stets pure Funktionen[10] bzw. Funktionen im mathematischen Sinne und sind daher sehr leicht testbar. Außerdem ermöglicht Redux in Kombination mit einer Browsererweiterung mehrere interessante Features, darunter ein Feature namens „Zeitreise“, mit dem der Store zu einem beliebigen vorherigen Stand zurückgesetzt werden kann.

Redux lässt sich als eine Implementierung des Kommandopatterns betrachten. Hierbei stellen die Actions die Kommandos dar und der Store ist der Ausführer, der auch die Kommandohistorie verwaltet. Entsprechend stellt Redux auch automatisch eine Aufwandslose Undo-Redo-Funktionalität zur Verfügung.

Da Redux die meistverwendete Bibliothek für Statemanagement ist [24], wird ihre Installation stellvertretend für Alternativen wie MobX betrachtet. Ausnahme hiervon bildet jedoch Vuex, da es eine sehr hohe Ähnlichkeit zu Redux aufweist, sich mit besonders wenig Aufwand in einem Vue-Projekt installieren lässt und es für Vue-Projekte anstelle von Redux empfohlen wird [22].

Aufgrund ihrer großen Frameworkbindung werden außerdem Komponentenbibliotheken untersucht. Gerade für kleine Projekte, an denen keine Designer arbeiten, kann es sich sehr lohnen, eine Kombonentenbibliothek einzubinden. Da diese Komponenten für Frameworks bereitstellen muss, gibt es in der Regel für jedes Design System jeweils eine Bibliothek pro Framework.

[10] D.h. sie sind seiteneffektfrei und ergeben bei gleicher Eingabe immer die gleiche Ausgabe.

Stellvertretend für andere Komponentenbibliotheken werden drei Material-Design-Bibliotheken untersucht: Material UI für React, Angular Material für Angular und Vuetify für Vue.

Um abschließend noch eine Bibliothek zu betrachten, die an sich keinerlei Bindung an Frameworks hat aber trotzdem in die Applikation eingebunden werden muss, wird willkürlich als Beispiel paper.js ausgewählt. Diese Bibliothek erleichtert den Umgang mit dem HTML Canvas. Für sie muss zwar eine Komponente erzeugt werden, die ins DOM eingebunden wird, aber darüber hinaus muss sie im Gegensatz zu den anderen Bibliotheken nicht in andere Teile der Applikation eingebunden werden.

3.2 Vergleich der Installationsprozesse

Beim manuellen Installieren der verschiedenen Werkzeuge und Bibliotheken sind einige Gemeinsamkeiten und vor allem in den Details viele Unterschiede aufgefallen.

Auf einer allgemeineren, konzeptuellen Ebene lässt sich (wie bereits geschehen) zwischen Werkzeugen und Bibliotheken unterscheiden. Allgemeinhin müssen für beides zunächst NPM-Pakete installiert werden. Daraufhin benötigen aber Werkzeuge meist die Änderung von Konfigurationsdateien, während zur Einbindung von Bibliotheken eher der produktive Code modifiziert werden muss.

3.2.1 Installationen von Werkzeugen

Zur Installation von Prettier ist beispielsweise lediglich die Erstellung einer Konfigurationsdatei für Prettier notwendig. Theoretisch kann auch auf diese Verzichtet werden, aber da ein Ziel des Projektes ist, dass Nutzende alles wichtige für die meiste Arbeit eingerichtet bekommen, ist es sinnvoll, die Datei bereits zu erstellen und mit sinnvollen Standardwerten zu füllen. Darüber hinaus ist es ratsam, zur leichteren Ausführung von Prettier (wie bei den meisten anderen Werkzeugen auch) ein NPM-Script zu erzeugen. Hierfür muss die package.json-Datei modifiziert werden können.

Ähnlich ist bei der Installation von ESLint vorzugehen. In der Regel bedarf es lediglich der Installation des Paketes, der Einrichtung eines entsprechenden Scripts und der Erzeugung der Konfigurationsdatei. Leider wird der Installationsprozess bei der Benutzung von Angular dadurch verkompliziert, dass hier standardmäíg zunächst das veraltete TSLint eingebunden ist. Allerdings gibt es bereits ein NPM-Paket[11], das den Wechsel auf ESLint automatisch durchführen kann.

Mit vergleichsweise wenig Aufwand lässt sich Sass / SCSS installieren. Sowohl Angular als auch Vue verfügen hierzu über einen Parameter bei der initialen Installation. Bei React muss zwar das node-sass Paket installiert werden, aber sonstige Einrichtungsschritte sind nicht vorzunehmen.

Überdurchschnittlich viel Aufwand verursachen dahingegen Jest und Cypress. In Kombination mit React wird Jest zwar automatisch installiert und im Vue-CLI gibt es hierfür

[11] `https://github.com/angular-eslint/angular-eslint`

eine entsprechende Option. Allerdings setzt Angular bisher auf Karma als Testausführer und Mocha als Assertion Library, weshalb hier nicht nur eine Installation von Jest sondern auch eine Anpassung bestehender Scripte und alter Tests notwendig ist. Wie auch schon bei ESLint gibt es ein Paket, was den Umstieg bis auf die Aktualisierung der eigentlichen Tests automatisch durchführen kann. Da bei der Ausführung von GWA noch keine speziellen Tests entstanden sein können, kann diese Aufgabe hier durch ein schlichtes Austauschen von festgelegten, vorgefertigten Dateien erledigt werden.

Die Installation von Cypress ist vergleichsweise simpel und benötigt lediglich das Installieren neuer NPM-Pakete, das erstellen eines Scripts in der package.json-Datei und das Erzeugen neuer Dateien. Dieser Prozess kann im Kontext von Vue sogar von der initialen Projekterstellung durchgeführt werden und auch in Angular-Applikationen kann er mithilfe eines NPM-Pakets automatisiert werden. Allerdings ergibt sich dann (d.h. in Angular-Projekten) ein Problem, wenn auch Jest installiert wurde. Dieses Problem lässt sich durch Modifikation der jest.config.js-Datei beheben [5].

Da das Schreiben von Tests für Jest und für Cypress sowohl in JavaScript als auch in TypeScript erfolgen kann, sollten die automatisch eingerichteten Tests in derjenigen der beiden Sprachen sein, die auch für den Produktivcode verwendet wird. Es ist also bei der Installation notwendig, zu wissen, ob TypeScript verwendet wird oder nicht.

Eine letzte Besonderheit ergibt sich bei der Installation von Husky und lint-staged. Es sind dafür zwar ähnliche Schritte wie bei anderen Werkzeugen notwendig, aber zusätzlich wird hier eine Liste von Befehlen bzw. Skripten benötigt, die vor bestimmten Git-Prozessen ausgeführt werden sollen.

Zusammenfassend ist für die Installation von Werkzeugen also eine Kenntnis über die Verwendung von TypeScript nötig. Es muss auch bekannt sein, ob unter den anderen ausgewählten Werkzeugen solche dabei sind, die vor Git-Prozessen ausgeführt werden sollen. Darüber hinaus ist die Installation von NPM-Paketen sowie die Modifikation einiger Codedateien notwendig. Diese Dateien sind entweder im JavaScript Object Notation (JSON)-Format oder sie sind JavaScript- / TypeScript-Dateien. Außerdem muss es möglich sein, neue Dateien mit vorbestimmtem Inhalt zu erzeugen, der sich an den gewählten JavaScript-Dialekt anpassen können muss.

3.2.2 Installationen von Bibliotheken

Auch bei der Installation von Bibliotheken gibt es viele Gemeinsamkeiten, aber hier sind deutlich größere Unterschiede zwischen den Frameworks zu vermerken. Dies ist vor allem dadurch zu begründen, dass die Einbindung der Bibliotheken innerhalb von Komponenten geschieht und daher entweder bestehende Komponenten modifiziert oder neu erstellte Komponenten eingebunden werden müssen. Aufgrund dieser Bindung an Komponenten muss das entsprechende Vorgehen an jedes Framework einzeln angepasst werden.

Ein gutes Beispiel hierfür ist die Installation von paper.js, da diese Bibliothek in keinem Framework vorinstallierbar ist. Zur sinnvollen Benutzung von paper.js ist es not-

wendig, einen Canvas auf der Webseite anzuzeigen. Sobald dieser Canvas existiert, kann paper.js initialisiert werden und etwas auf dem Canvas zeichnen (zu Demonstrationszwecken genügt ein einfaches Rechteck).

Hierfür lässt sich in allen drei Frameworks eine Komponente schreiben, die dann in die Hauptkomponente eingebettet werden muss. Die dafür erforderlichen Dateiveränderungen sind jedoch sehr verschieden.

In allen drei Frameworks muss die neue Komponente zuerst dort in das DOM eingefügt werden, wo sie anschießend erscheinen soll. Zudem muss sie im zugehörigen Script-Block importiert werden. Danach folgt in Vue eine Besonderheit, die in React und Angular nicht notwendig ist: die umgebende Komponente muss deklarieren, dass sie die neue Komponente verwendet. Dies geschieht in einem Attribut des Definitionsobjekts der umgebenden Komponente. Dieses Attribut muss bei der ersten Komponente, die eingefügt werden soll, neu erzeugt werden, während es bei allen weiteren neuen Komponenten nur erweitert werden muss.

Dieses eine Beispiel zeigt bereits, dass es schon für simple Installationen von Bibliotheken notwendig ist, framework-spezifischen Code modifizieren zu können. Hierfür wäre es hilfreich, ein tiefes Verständnis des zu modifizierenden Codes zu haben. Da aber die Struktur des vorher existierenden Codes bekannt ist (unter der Annahme, dass sich die von den Frameworks initial erzeugten Projekte nicht auf relevante Art und Weise verändern werden) und da die vorzunehmenden Änderungen sich innerhalb eines Frameworks immer ähneln, kann diese geringe Menge von Änderungsarten auch ohne ein solches tiefes Verständnis umgesetzt werden. Genauer wird hierauf in Kapitel 4 eingegangen.

Die Komponentenbibliotheken lassen sich ohne weitere Probleme einbinden; häufig geschieht dies sogar automatisch bei der initialen Projekterzeugung durch das Framework-spezifische CLI.

Neue Probleme weisen jedoch die Einbindung von Redux und Routern auf. Diese Bibliotheken bauen beide darauf auf, dass gewisse Informationen global verfügbar sind (in Redux der Store und in Routern die aktuelle Route).

In React ist das umsetzbar, indem die oberste Komponente von sogenannten „Providern“ umgeben wird, die einen Wert und einen zugehörigen Schlüssel entgegennehmen und dann jeder ihnen unterliegenden Komponente den Wert unter dem jeweiligen Schlüssel zur Verfügung stellen. Das Umgeben der obersten Komponente ist also notwendig, damit alle Komponenten der gesamten Applikation Zugriff auf diese Werte erhalten. Falls dies nicht gewünscht ist, kann der zugehörige Provider aber auch verschoben werden.

In Angular ist es für eine möglichst simple Verwendung von Redux sinnvoll, einen Angular-Service einzurichten. Dies ermöglicht die einfache Erstellung eines Singleton Store-Objektes und erlaubt es gleichzeitig, mit Angular-typischen Mitteln wie RxJS[12]-Methoden auf den Store zuzugreifen. Im Grunde genommen handelt es sich hierbei aber erneut nur um das erstellen einer Datei mit vorbestimmtem Inhalt.

Im Zusammenhang mit Vue fallen keine weiteren Probleme auf, da hier für Redux

[12] `https://rxjs.dev/`

Vuex substituiert wird und sowohl Vuex als auch der Vue Router bereits automatisch installierbar sind.

3.2.3 Zusammenfassung der notwendigen Installationsschritte

Über die Werkzeuge und Bibliotheken hinweg zeigt sich, dass sich vieles über einfache Befehle installieren lässt, ohne, dass ein weiterer Aufwand betrieben werden muss. Für andere Installationen ist es ausnahmslos notwendig, gegebene Pakete von NPM installieren zu können. Wünschenswert wäre es auch, hierfür einen anderen Installer wie Yarn verwenden zu können, der aber dieselben Pakete installiert. Es muss außerdem möglich sein, neue Dateien an bestimmten Orten zu erzeugen und diese mit Inhalten zu füllen, die sich nach der getroffenen Auswahl von Werkzeugen und Bibliotheken richten können.

Außerdem muss die Modifikation bestimmter Dateien ermöglicht werden. Zum einen muss es möglich sein, verschiedene JSON-Dateien zu verändern. Zum anderen muss frameworkspezifischer Code ergänzt und modifiziert werden können. Außerdem muss die Reihenfolge der Installation der Werkzeuge bzw. Bibliotheken festlegbar sein, da beispielsweise Husky und lint-staged als letzte Werkzeuge installiert werden sollten, um alle anderen ausgewählten Werkzeuge berücksichtigen zu können.

3.3 Bestimmung der erwünschten Features

Grundsätzlich soll GWA drei Aufgaben übernehmen: Nutzende sollen nach ihren Präferenzen gefragt werden und sie sollen die Möglichkeit bekommen, interaktiv mit vielen hilfreichen Informationen eine Konstellation von Werkzeugen und Bibliotheken zusammenzustellen, die sie in ihrem Projekt nutzen wollen.

Da aber nicht jede solche Kombination möglich oder sinnvoll ist (beispielsweise kann, wie erwähnt, bis auf in Spezialfällen nur maximal ein Framework gleichzeitig benutzt werden) bzw. bestimmte Bibliotheken von anderen abhängen (Angular soll beispielsweise nicht ohne TypeScript benutzt werden), ist es danach notwendig, dass die Angaben der Nutzenden validiert werden. Sind alle Wünsche umsetzbar, so ist als dritte und letzte Aufgabe die erwünschte Installation vorzunehmen.

In der Praxis soll die Abarbeitung der Aufgaben etwas mehr ineinander übergehen. Beispielsweise ist es wünschenswert, dass nach jedem Zwischenschritt bereits so viel Validierung vorgenommen wird, wie möglich, damit nicht erst nach einer langen Konfiguration festgestellt wird, dass die getroffene Auswahl gar nicht umsetzbar ist. Nach Möglichkeit sollte nach jeder unzulässigen Antwort dieselbe Frage erneut gestellt werden oder weiterhin beantwortbar bleiben, bis eine zulässige Antwort gegeben worden ist. Nur, wo das nicht möglich oder nicht praktikabel ist, soll GWA mit einem Fehlercode abgebrochen werden.

Erstmal ist es nicht notwendig, Projekte ohne ein Framework zu unterstützen. Diese Entscheidung rührt daher, dass bei frameworkunabhängigen Projekten von Anfang

an viel mehr entschieden und eingerichtet werden muss. Beispielsweise muss der Compilierprozess manuell eingerichtet werden und es muss ein lokaler Entwicklungsserver aufgesetzt werden. Zudem liegen die Gründe dafür, kein Framework zu benutzen, häufig darin, dass ein sehr spezielles Projekt geplant wird, dessen Komplexität den Rahmen von GWA ohnehin überschreiten würde (z.B. Entwicklung von Teilen der Applikation in WebAssembly). In diesen Fällen wäre die Unterstützung eines Projektes ohne Framework also auch nicht hilfreich, wenn nicht auch die gewünschten Sonderwünsche unterstützt werden. Da die Komplexität dieses Features aber erheblich größer wäre als bei den drei bereits diskutierten Frameworks, wird vorerst darauf verzichtet.

Wie bereits erwähnt, soll es möglich sein, den Paketmanager auszutauschen (also z.B. statt NPM Yarn zu verwenden). Diese Austauschbarkeit lässt sich leicht mit dem Strategiemuster umsetzen, da die im Rahmen von GWA genutzten Features von allen diesen Managern gleichermaßen unterstützt werden und diese dafür vergleichbare Schnittstellen anbieten. Nutzenden soll also zu Beginn die Wahl eines Paketmanagers gegeben werden, der dann auch genutzt werden soll.

Bei der Planung und Entwicklung von GWA muss auch bedacht werden, dass GWA nach seiner Ausführung das Projekt nicht mehr begleiten wird und dieses daher auch ohne GWA betrieben und gewartet werden können muss. Da zumindest im Fall von Angular und Vue die zugehörigen CLIs auch für die Pflege genutzt werden können, ist es sehr empfehlenswert, dafür zu sorgen, dass die Projekte nach der Installation durch GWA auch weiterhin damit kompatibel sind.

Daher kann es sinnvoll sein, bei der Installation so viele Schritte wie möglich über die zugehörigen CLIs durchzuführen. So gäbe es möglichst wenig Aktionen, die von GWA vorgenommen würden, die die Kompatibilität zu den CLIs gefärden könnten. Natürlich ist auch zu beachten, dass auf diese Weise viel Aufwand gespart werden könnte, weil dann viele Aufgaben nicht manuell implementiert werden müssten, sondern auf bereits existierende und bewährte Lösungen gesetzt werden könnte.

Ein Nachteil dieses Ansatzes ist, dass er die verwendbaren Paketmanager erheblich einschränken würde. Das React-CLI unterstützt bereits nur NPM und Yarn [14] und somit könnten andere Paketmanager nicht von GWA angeboten werden. Außerdem wäre aufgrund der Unterschiede zwischen den jeweiligen CLIs uneinheitlich geregelt, wann bestimmte Bibliotheken bzw. Werkzeuge installiert würden, da einige CLIs sie bereits initial beinhalten und andere nicht.

Der alternative Ansatz wäre, für alle Frameworks die komplette Erzeugung des Framework-spezifischen Codes zu übernehmen. Das hätte den Vorteil, dass klar geregelt werden könnte, wann welches Werkzeug / welche Bibliothek installiert wird. Außerdem hätte GWA so mehr Kontrolle über die Einheitlichkeit der erzeugten Projekte. Dafür wäre der Aufwand um ein vielfaches höher und es könnte nur deutlich schwerer die Pflege durch Erstanbieter-CLIs garantiert werden.

Nach diesen Überlegungen überwiegen die Vorteile des Ansatzes, möglichst viele der CLIs und der sonstigen Werkzeuge zu verwenden. Diese Entscheidung kann natürlich für jedes einzelne Werkzeug / jede einzelne Bibliothek erneut abgewogen werden, aber

im Allgemeinen wird dieser Ansatz verfolgt werden.

Ein weiterer Fokus der Entwicklung liegt auf Erweiterbarkeit. Da es in der Zukunft neue Werkzeuge und Bibliotheken geben wird, die auch über GWA installierbar sein sollen, muss es leicht möglich sein, GWA um ein Werkzeug oder eine Bibliothek zu erweitern. Dies soll über ein Erweiterungssystem erreicht werden, auf das im Folgenden noch genauer eingegangen werden wird. Erweiterungen sollen zum einen Metadaten über das entsprechende Werkzeug / die Bibliothek zur Verfügung stellen; zum anderen sollen sie aber auch über die Möglichkeit verfügen, Nutzenden Fragen zu stellen und anschließend entsprechend dieser Fragen und mit Kenntnis der anderen ausgewählten Erweiterungen eine entsprechende Teilinstallation durchzuführen.

Um die Erweiterbarkeit von GWA zu demonstrieren, sind exemplarisch einige Erweiterungen zu entwickeln. Hierbei besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit, sondern vielmehr geht es darum, zu demonstrieren, dass das Schreiben von Erweiterungen verschiedener Arten möglich ist und, wo möglich, vom Grundgerüst unterstützt wird. Der Fokus bei der Entwicklung von Erweiterungen liegt daher nicht auf Quantität, sondern auf Vielseitigkeit.

3.4 Abwägung über Sonderstellungen für TypeScript und Frameworks

Aus den letzten Unterkapiteln geht hervor, dass sowohl TypeScript als auch das jeweils verwendete Framework eine größere Auswirkung auf das Projekt haben, als sonstige Bibliotheken oder Werkzeuge. Bei TypeScript liegt das daran, dass für viele Bibliotheken je ein weiteres NPM-Paket für die zugehörigen Typdefinitionen installiert werden muss und neu erzeugte Dateien sowohl eine andere Endung haben müssen als auch mit anderem Inhalt gefüllt werden müssen.

Daher lässt sich überlegen, ob TypeScript nicht in Form einer herkömmlichen Erweiterung eingebaut werden sollte, sondern fester in den Code zu integrieren ist. Der Code könnte dadurch leserlicher werden, da an mehr Stellen explizit klar würde, dass und warum Sonderfälle existieren. Dieses Vorgehen hätte jedoch den erheblichen Nachteil, dass in der Zukunft keine weiteren JavaScript-Dialekte (ohne erheblichen Aufwand) unterstützt werden könnten, falls neue entwickelt und populär werden sollten.

Wenn also genügend Fokus auf die verständliche Entwicklung entsprechender Sonderfälle gelegt wird, ist die TypeScript-Unterstützung in Form einer normalen Erweiterung zu implementieren.

Im Fall der Frameworks ist eine ähnliche Überlegung aus anderen Gründen sinnvoll. Wie bereits erläutert worden ist, können manche Werkzeuge / Bibliotheken von bestimmten Frameworks initial mitinstalliert werden, aber von anderen nicht. Da diese Möglichkeit auch genutzt werden soll (siehe Kapitel 3.3), müssten also entweder solche Erweiterungen in den Ablauf der Installation eines Frameworks eingreifen und diesen manipulieren können, oder sie müssten im Rahmen einer solchen Installation deakti-

viert werden können, damit das Framework die Installation übernehmen kann und keine Konflikte entstehen.

Der Eingriff in die Installation der Frameworks wäre sehr komplex umzusetzen. Da Werkzeuge / Bibliotheken immer nach dem Framework installiert werden müssen (sofern sie eben installiert werden müssen), wäre also die Installation des Frameworks eigentlich schon vorbei, bevor eine Erweiterung überhaupt dazu kommen könnte, die Frameworkinstallation zu manipulieren. Außerdem wäre eine solche Manipulation per Definition ein Seiteneffekt und würde damit, wie bereits erläutert, die Testbarkeit der Erweiterung und der Installation erschweren.

Die Deaktivierung einer Erweiterung wäre zwar erstmal auch als Seiteneffekt zu betrachten. Allerdings müssen Erweiterungen bei der Installation sowieso eine Liste der anderen ausgewählten Erweiterungen erhalten. Eine Erweiterung könnte sich also aufgrund dieser Liste selber deaktivieren anstatt von außen deaktiviert zu werden. So wäre das Verhalten wieder leicht testbar.

Infolge dieser Überlegungen sind also sowohl TypeScript als auch andere Frameworks als normale Erweiterungen zu implementieren.

3.5 Planung der Erweiterungen

Um einheitlich mit allen Erweiterungen umgehen zu können, sollten diese ein gewisses Interface implementieren[13]. Neben einigen Metadaten (wie Name, Beschreibung oder Kategorie), die vor allem zu Anzeige- und Informationszwecken genutzt werden, müssen einige inhaltliche Eigenschaften deklarierbar sein.

Als erstes ist die Definition erweiterungsspezifischer CLI-Argumente zu betrachten. Für die Analyse der übergebenen Argumente wird commander[14] verwendet. Diese Bibliothek lässt bei der Ausführung des Programmes die Definition von unterstützen Argumentnamen und -typen zu. Daraufhin analysiert sie die tatsächlich übergebenen Argumente, ordnet diese den definierten Möglichkeiten zu, validiert sie ggf. und gibt anschließend ein Objekt zurück, das sämtliche übergebenen Argumentwerte beinhaltet.

Die Definition der erweiterungsspezifischen Argumente muss daher von jeder Erweiterung übernommen werden. Hierfür kann eine Erweiterung eine Funktion definieren, die ein Objekt entgegennimmt, auf dem ihre Argumente definiert werden können.

Als nächstes wird die Durchführung des Dialogs betrachtet. Die initiale Auswahl der Erweiterungen kann von außerhalb der einzelnen Erweiterungen erledigt werden. Dafür ist es neben den Metadaten notwendig, dass Erweiterungen ihre Abhängigkeiten und Exklusivitäten deklarieren können, damit die getätigte Auswahl überprüft werden kann.

Nach der initialen Auswahl der Erweiterungen muss jede der ausgewählten Erweiterungen die Möglichkeit bekommen, weitere Nachfragen zu stellen. Hierfür kann eine

[13] In der tatsächlichen Implementierung wird aufgrund des Vorgehens nach funktionaler Programmierung ein TypeScript Type anstelle eines Interfaces verwendet. Dieser Unterschied spielt an dieser Stelle jedoch keine Rolle.

[14] `https://github.com/tj/commander.js`

Erweiterung eine Methode definieren, die als Eingabeparameter alle notwendigen Objekte zum Stellen von Fragen und Analysieren der Antworten erhält und ein Objekt mit den bereits verarbeiteten Antworten des Users (also den gewünschten Einstellungen) zurück gibt. Dieser Funktion könnte auch als weiterer Eingabeparameter eine Liste der von commander zusammengetragenen CLI-Argumente gegeben werden, sodass zum einen dort bereits beantwortete Fragen nicht erneut gestellt werden müssen und zum anderen diese Argumente in die Erzeugung des Einstellungsobjekts mit einfließen können.

Um die eigentliche Installation zu ermöglichen, muss es eine Methode geben, die genau diesen Schritt ausführt. Als Eingabe benötigt sie eine Liste aller ausgewählten Erweiterungen sowie deren Einstellungen (damit vor allem Frameworks die Mitinstallation anderer Bibliotheken oder Werkzeuge gemäß den angegebenen Präferenzen vornehmen können). Außerdem müssen auch sonstige über das Projekt bekannte Daten (z.B. der gewünschte Name des Projektes) übergeben werden, da unter anderem die initiale Einrichtung des Frameworks diese Angaben erfordern.

Anschließend kann es hilfreich sein, wenn abschließende Hilfsinformationen für Nutzende ausgegeben werden können, damit die nächsten Schritte mit einer Bibliothek oder einem Werkzeug erläutert werden können. Hierfür kann deshalb eine zusätzliche Methode angegeben werden, die als Parameter dieselben Daten wie die Installationsfunktion übergeben bekommt, um denselben Informationsstand zu haben und Aussagen über die durchgeführte Installation treffen zu können.

3.6 Zu verwendende Technologien

Aufgrund dessen, dass im Rahmen von GWA JavaScript-Projekte eingerichtet werden sollen, die auf NPM-Projekten aufbauen sollen, ist es sinnvoll, auch dieses Projekt innerhalb des NPM-Ökosystems aufzubauen. Somit können Entwickelnde, die eine Bibliothek oder ein Werkzeug erstellt haben, in derselben Programmiersprache auch an GWA mitarbeiten, wodurch die Pflege des CLIs erleichtert und allgemeiner zugänglich gemacht werden könnte.

Als primäre Programmiersprache wird anstelle reinen JavaScripts TypeScript zum Einsatz kommen. Die dadurch gewonnene Typsicherheit ist insbesondere aufgrund dessen nützlich, dass neue Entwickelnde beim Einstieg in das Projekt leichter verstehen können, welche Daten an einer bestimmten Stelle vorliegen.

Zur Durchführung des Dialogs (d.h. zum Stellen von Fragen und zur Darstellung von Informationen) werden inquirer[15] und chalk[16] verwendet. Die Wahl auf beide Bibliotheken ist dadurch gefallen, dass sie von einigen der zuvor vorgestellten Generatoren verwendet werden. Die Fragen der Vue- und des Angular-CLIs werden mithilfe von inquirer gestellt [21] [12] (wie bereits erwähnt, stellt CRA gar keine Fragen) und inquirer selbst verwendet chalk zum farblichen Hervorheben von Teilen von Ausgaben [16]. Wie

[15] `https://www.npmjs.com/package/inquirer`
[16] `https://www.npmjs.com/package/chalk`

bereits erwähnt, wird außerdem zur Analyse von übergebenen CLI-Argumenten commander verwendet.

Des weiteren werden einige Technologien verwendet, die keinen besonderen Einfluss auf das Programm selbst haben und die daher ohne besondere Recherche aufgrund von persönlicher Erfahrung und Präferenz ausgewählt werden. Diese Technologien umfassen insbesondere Jest, womit automatische Tests geschrieben und ausgeführt werden können, GitHub, worüber der Code des Projektes verwaltet wird, und Prettier.

Prettier wird aus zwei Gründen verwendet: einerseits lässt sich damit, wie erläutert, während der Entwicklung neu entstandener und modifizierter Code formatieren. Andererseits lässt sich Prettier auch programmatisch verwenden, d.h. es kann direkt per JavaScript / TypeScript aufgerufen werden. Darum kann Prettier ebenfalls bei der Ausführung von GWA verwendet werden, um erzeugte und modifizierte Dateien zu formatieren.

4 Implementierung

Der Fokus der Implementierung liegt darauf, ein ausreichende Grundgerüst zu schaffen, damit die Implementierung einzelner Erweiterungen keine neuen Herausforderungen aufweist. Daher werden Erweiterungen nur exemplarisch entwickelt, um die Funktionalität des Grundgerüsts zu demonstrieren.

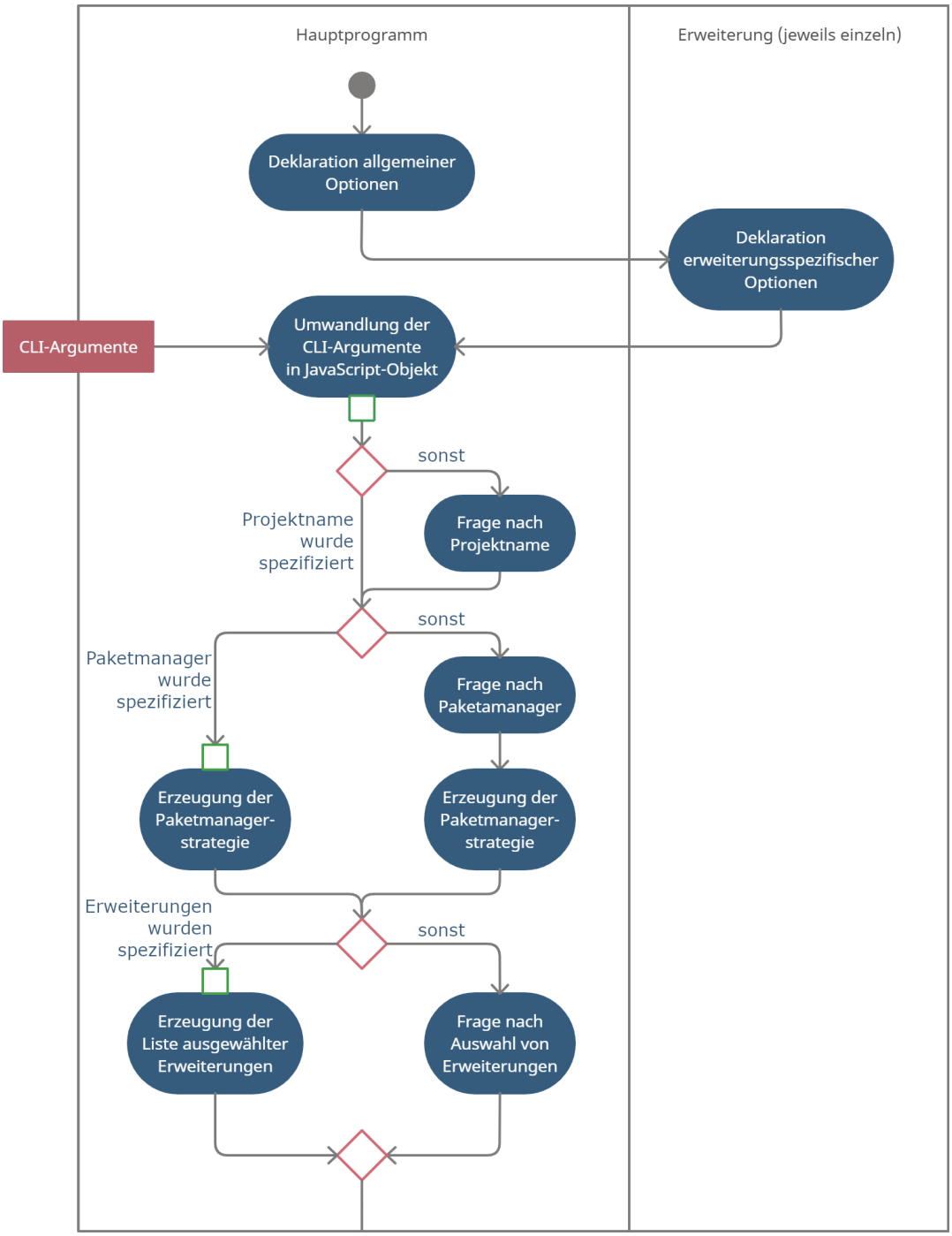
Es wird, wo möglich Funktionale Programmierung eingesetzt, um die Testbarkeit des Codes zu erleichtern. Da GWA unabdingbar über Seiteneffekte verfügen muss, um die gewünschten Projekte erzeugen zu können, ist ein reines Vorgehen nach Funktionaler Programmierung jedoch nicht möglich.

Bevor auf die einzelnen Aspekte der Implementierung eingegangen wird, verleiht Abbildung 1 einen Überblick über den Ablauf von GWA.

4.1 Vorgehen nach TDD

Da ermöglicht werden soll, dass andere Entwickelnde an GWA mitarbeiten können sollen, ist es hilfreich, möglichst viel Funktionalität durch automatisierte Tests abzudecken. So können an beliebigen Stellen Änderungen vorgenommen werden und auch, wenn Entwickelnde keinen Überblick über den vollständigen Funktionsumfang haben, können sie durch Ausführung der Tests mit großer Zuversicht feststellen, ob sie in bereits existierende Funktionalität versehentlich einen Defekt eingebaut haben.

Allerdings muss an einigen Stellen von TDD abgewichen werden. Dies ist insbesondere an Stellen der Installation der Fall, wo andere Werkzeuge aufgerufen werden, um Dateien zu erzeugen oder zu modifizieren. Zwar können diese Aufrufe abgefangen werden und die aufgerufenen Prozesse simuliert werden, aber ohne die tatsächliche Durchführung dieser Abhängigkeiten ist nicht überprüfbar, ob die Aufrufe tatsächlich den gewünschten Effekt haben würden.


Hauptprogramm
Erweiterung (jeweils einzeln)
Deklaration allgemeiner Optionen
Deklaration erweiterungsspezifischer Optionen
CLI-Argumente
Umwandlung der CLI-Argumente in JavaScript-Objekt
sonst
Projektname wurde spezifiziert
Frage nach Projektname
sonst
Paketmanager wurde spezifiziert
Frage nach Paketamanager
Erzeugung der Paketmanager-strategie
Erzeugung der Paketmanager-strategie
Erweiterungen wurden spezifiziert
sonst
Erzeugung der Liste ausgewählter Erweiterungen
Frage nach Auswahl von Erweiterungen

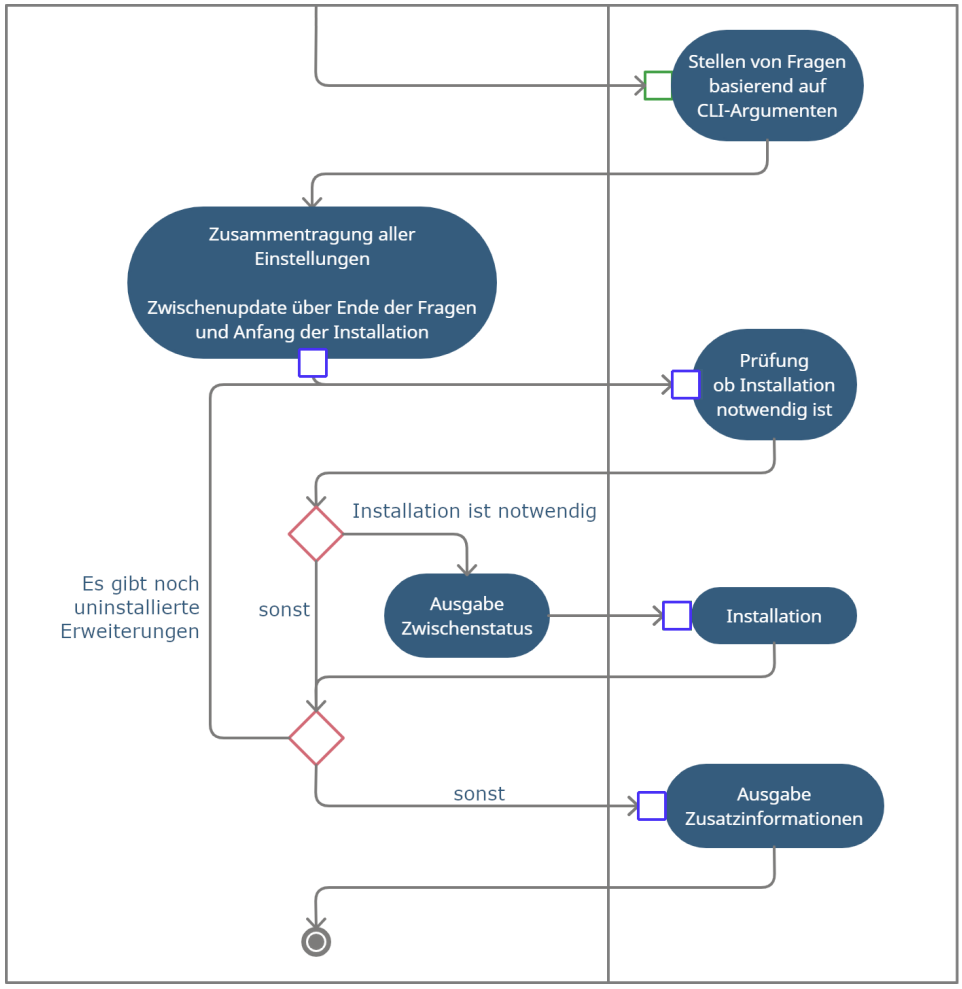


Abbildung 1: Ein Ablaufdiagramm von GWA. Es zeigt zunächst die Deklaration der CLI-Argumente mit commander, dann die Durchführung des Dialogs mit inquirer und anschließend die Installation der Erweiterungen.

4.2 Umsetzung von Erweiterungen im Allgemeinen

Bei der Definition von und dem Umgang mit Erweiterungen sind einige allgemeine Probleme aufgetreten, die nicht durch Besonderheiten einzelner Erweiterungen verursacht wurden. In diesem Unterkapitel wird auf diese Probleme eingegangen und es wird jeweils erläutert, wie sie gelöst werden konnten.

4.2.1 Probleme mit zyklischen Codeverweisen

Aus der Konzeptionierung geht hervor, dass es notwendig ist, dass Erweiterungen auf andere Erweiterungen verweisen können, um beispielsweise Abhängigkeiten oder Exklusivitäten zu definieren. Außerdem wurde dargestellt, dass Exklusivität symmetrisch ist, d.h. dass die Erweiterung A zur Erweiterung B genau dann exklusiv ist, wenn auch B zu A exklusiv ist.

Bei der Implementierung von Erweiterungen wurden die Exklusivitäten daher zunächst auch symmetrisch eingetragen. Dies führte jedoch zu dem Problem, dass die Definitionen dieser Erweiterungen zyklisch aufeinander verwiesen haben. Die Definition der Erweiterung A brauchte eine Referenz auf die Erweiterung B, aber B konnte nicht ohne eine Referenz auf A erstellt werden.

In JavaScript wird dieses Problem ohne Ausgabe einer Warnung dadurch gelöst, dass eine von beiden Referenzen den Wert `undefined` annimmt, also dass eine von beiden Erweiterungen eine Exklusivität zu `undefined` erhält.

Dasselbe Problem entsteht auch in anderen, gelegentlich notwendigen Situationen. Ein Beispiel hierfür wird in Abbildung 2 illustriert. In diesen Fällen wird ein Teil des Zykluses nicht durch reine Definition bedingt, wie es bei den symmetrischen Exklusivitäten der Fall ist, sondern hier entsteht der Verweis auf die andere Erweiterung erst bei einer Prüfung in der Installation. Dort muss geprüft werden, ob die andere Erweiterung ebenfalls ausgewählt wurde, da dies die aktuelle Installation beeinflussen würde.

Ein Lösungsansatz für dieses Problem wäre, die Deklaration der Erweiterungen und die Definition der Inhalte der Erweiterungen getrennt voneinander durchzuführen. So könnte erst für jede Erweiterung ein leeres Objekt erzeugt werden, auf das frei verwiesen werden könnte. Daraufhin würden diese Objekte erst mit den eigentlichen Inhalten der Erweiterung gefüllt werden.

Dieser Ansatz führt jedoch zu Konflikten mit TypeScript. Da dieselben Variablen verwendet werden sollen, um zunächst leere und dann gefüllte Objekte zu speichern, müssten diese Variablen entweder sehr allgemeine Typdefinitionen haben, die während der weiteren Implementierung zu größeren Aufwänden führen würden, oder sie müssten zu einem Zeitpunkt falsche Typdefinitionen besitzen. Auch dieser Ansatz ist suboptimal, da an entsprechenden Stellen Fehlermeldungen von TypeScript absichtlich deaktiviert oder umgangen werden müssten.

Stattdessen kann für jedes einzelne dieser Probleme, die zu zyklischen Codeverweisen führen, eine eigene Lösung gefunden werden. Die Identifikation von Erweiterungen

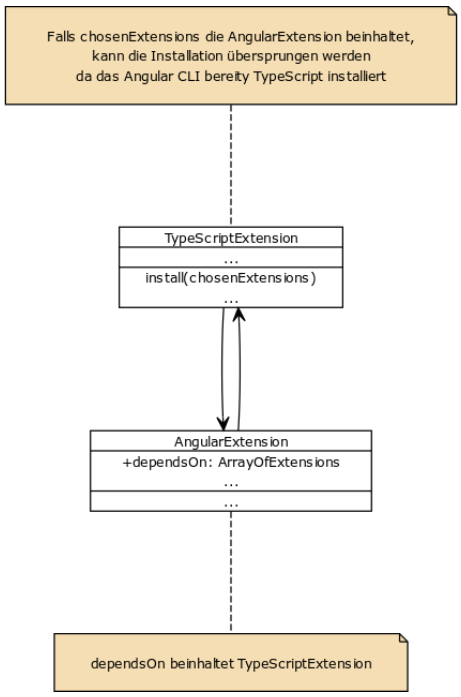


Abbildung 2: Ein Beispiel, wie ohne symmetrische Definition der Exklusivität ein zyklischer Codeverweis entstehen kann.

kann durch ein einzigartiges Attribut gewährleistet werden. Hierfür wäre der Name verwendbar, aber aus in Kapitel 4.2.2 erläuterten Gründen wird stattdessen eine eindeutig vergebene ID verwendet.

Bei der Definition von Exklusivitäten wird auf die symmetrische Spiegelung verzichtet. So kann durch geschickte Wahl, bei welcher der beiden beteiligten Erweiterungen eine Exklusivität definiert wird, jeder durch Exklusivitätsdefinition bedingte zyklische Codeverweis eliminiert werden.

Dieser Ansatz könnte noch dadurch erweitert werden, dass die Exklusivitäten erst an späterer Stelle (nach der initialen Definition aller Erweiterungen) definiert werden. Da Exklusivitäten ohnehin optional sind (bei der Konzeptionierung wurde festgelegt, dass eine Erweiterung keine Exklusivitäten haben muss), würde dies sich nicht weiter auf die Typdefinition von Erweiterungen auswirken. Eine weitere Alternative ist die nachträgliche Herstellung der Symmetrie. Da jedoch bei den verwendeten Algorithmen die symmetrische Definition der Exklusivitäten nicht benötigt wird, werden diese beiden Ansätze vorerst nicht verfolgt.

Die somit umgesetzte Lösung kann allerdings das Problem der undefinierten Abhängigkeiten / Exklusivitäten nicht komplett ausschließen. Daher werden zusätzlich Überprüfungen eingeführt, die die grobe Sinnhaftigkeit der definierten Erweiterungen sicherstellen sollen. Konkret wird hier sichergestellt, dass in keiner Liste von Abhängigkeiten oder Exklusivitäten der Wert `undefined` vorkommt und dass alle Erweiterungen einzig-

artige IDs besitzen.

Diese Sinnhaftigkeitsüberprüfung ließe sich leicht in die normale Ausführung des CLIs einbinden, sodass vor jeder Ausführung gewährleistet ist, dass die Erweiterungen sinnvoll definiert sind. Da sich die Erweiterungen aber nach dem Kompilierprozess nicht mehr verändern, würde es auch ausreichen, die Überprüfungen bei der Gelegenheit auszuführen. So würde bei Nutzenden etwas Rechenleistung gespart werden.

Eine weitere Möglichkeit ist die Ausführung der Überprüfungen im Rahmen der automatisierten Tests. Diese Variante hat den Nachteil, dass es möglich wäre, eine fehlerhafte Version von GWA zu veröffentlichen. Da die Ausführung der Tests im Rahmen dieser Arbeit aber bereits nach jeder Änderung automatisch geschieht und sie für zukünftige Fremdbeiträge ebenfalls über GitHub Actions[17] automatisiert werden kann, ist dieses Risiko als vernachlässigbar einzustufen.

Da die Einbindung der Überprüfungen in die automatisierten Tests erheblich einfacher ist als die Einbindung in den Kompilierprozess und die Differenz des bleibenden Risikos nicht bedeutend ist, wird die Einbindung in die automatisierten Tests vorgenommen.

4.2.2 Prüfung, ob eine Erweiterung ausgewählt worden ist

Für verschiedene Features ist es notwendig, dass Erweiterungen feststellen können, ob andere Erweiterungen ebenfalls ausgewählt worden sind (z.B. damit ESLint seine Installation aussetzen kann, falls React ausgewählt wurde, da React bereits ESLint installiert). Diese Feststellung wird unter anderem im Rahmen von Schleifen aufgerufen und sollte daher eine möglichst geringe Laufzeit besitzen.

Ideal wäre somit eine Laufzeit in $\mathcal{O}(1)$. Diese könnte beispielsweise erreicht werden, indem eine Hashmap verwendet wird, sofern die zugehörige Hashfunktion in $\mathcal{O}(1)$ läuft. In dieser Hashmap würde dann für jede Erweiterung als bool'scher Wert gespeichert werden, ob die Erweiterung ausgewählt wurde.

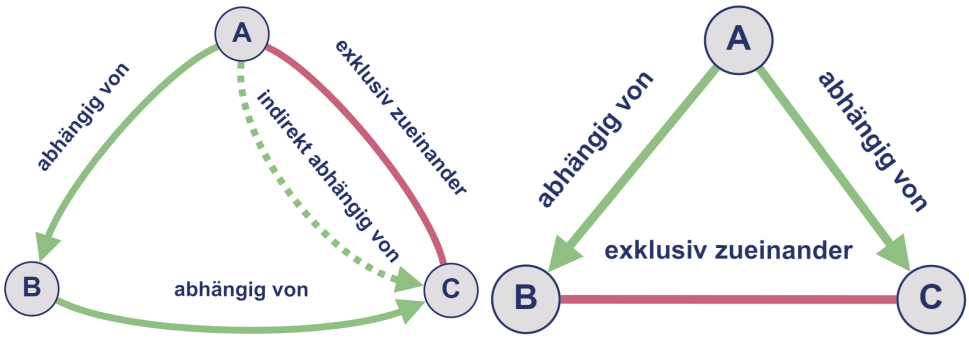
Da aber beim Start des Programmes alle möglichen Erweiterungen bekannt sind, können diesen eindeutige IDs zugewiesen werden, die dann als Index eines Arrays gelten können, in dem Daten zu den Erweiterungen gespeichert werden. Da die ID jeder Erweiterung bekannt ist, kann so trivialerweise in $\mathcal{O}(1)$ festgelegt und überprüft werden, ob eine bestimmte Erweiterung ausgewählt wurde.

4.2.3 Überprüfung der Umsetzbarkeit der Restriktionen

Während der Implementierung verschiedener Erweiterungen ist es versehentlich passiert, dass eine Konstellation von Restriktionen definiert wurde, die einen inneren Widerspruch enthält.

Da zu erwarten ist, dass verschiedene Leute ohne Kenntnis aller anderen Erweiterungen neue Erweiterungen erschaffen oder bestehende Erweiterungen modifizieren werden,

[17] `https://github.com/features/actions`



(a) Eine Möglichkeit, wie ein Widerspruch zwischen indirekter Abhängigkeit und Exklusivität entstehen kann.

(b) Hier entsteht ein Widerspruch dadurch, dass eine Erweiterung zwei Abhängigkeiten hat, die zueinander exklusiv sind.

Abbildung 3: Zwei Graphen zur Veranschaulichung von Konfliktmöglichkeiten zwischen Abhängigkeiten und Exklusivitäten.

sollte verhindert werden, dass versehentlich solche Kombinationen von Restriktionen erzeugt werden. Daher gilt es, mindestens zu jeder Kompilierzeit alle Restriktionen auf ihre Umsetzbarkeit zu überprüfen und im Falle eines Widerspruchs eine Warnung auszugeben.

Ein triviales Beispiel einer unmöglichen Kombination von Restriktionen wäre ein Paar von Abhängigkeiten A und B, wobei A und B exklusiv zueinander sind und gleichzeitig A von B abhängt. Es können in diesem Beispiel niemals beide Anforderungen gleichzeitig erfüllt werden.

Natürlich lassen sich aber auch kompliziertere Beispiele erzeugen. In Abbildung 3 werden zwei solche Konstellation dargestellt. Bei der einen hängt A von B und B von C ab, während zugleich A zu C exklusiv ist. Diese Kombination von Anforderungen lässt sich ebensowenig wie das erste Beispiel gleichzeitig erfüllen, aber das Problem ist in diesem Fall weniger offensichtlich. Hierfür muss erkannt werden, dass Abhängigkeiten transitiv sind. Ist also die Erweiterung A von B und B von C abhängig, so ist auch indirekt A von C abhängig.

Der zweite in Abbildung 3 dargestellte Konflikt beruht im Gegensatz zu den bisherigen Beispielen nicht darauf, dass eine Erweiterung zugleich (indirekt) abhängig von und exklusiv zu einer anderen Erweiterung ist. Hier wird eine weitere Kategorie von Problemen dargestellt: sind zwei (indirekte) Abhängigkeiten einer Erweiterung zueinander exklusiv, so können nicht beide dieser Abhängigkeiten erfüllt werden. Auch solche Konfigurationen sind also unzulässig.

Aus diesen fachlichen Überlegungen heraus ergibt sich eine erste Lösung des Problems. Für jede Erweiterung E sind zunächst alle direkten sowie indirekten Abhängigkeiten zu bestimmen. Für alle diese Abhängigkeiten ist dann zu prüfen, dass zum einen die Abhängigkeit A nicht zu E exklusiv ist, aber auch, dass A zu keiner weiteren (indirekten)

Abhängigkeit A' von E exklusiv ist.

Bei näherer Betrachtung dieser Lösung lässt sich jedoch einiges an Ineffizienz feststellen. Zum einen werden für jede Erweiterung erneut die transitiven Abhängigkeiten berechnet. Aufgrund eben dieser Transitivität sind jedoch die Berechnungen für alle Erweitungen, die Abhängigkeit einer anderen Erweiterung sind, überflüssig.

Die Lösung dieser Ineffizienz ergibt sich aus einer theoretischeren Betrachtung des Problems. Wie bereits aus der Verwendung des Begriffs der Transitivität hervorgeht, lassen sich Abhängigkeit und Exklusitivät als mathematische Relationen über der Menge aller Erweiterungen auffassen. Hierbei ist besonders hervorzuheben, dass die Exklusivität symmetrisch ist (ist A zu B exklusiv, so ist auch B zu A exklusiv) während Abhängigkeit nicht symmetrisch ist (im Gegenteil: bei der anfänglichen Analyse von möglichen Bibliotheken, Frameworks etc. ergab sich, dass Abhängigkeit nie symmetrisch zu sein scheint). Allerdings ist Exklusivität a priori nicht transitiv (auch, wenn A zu B und B zu C exklusiv ist, können A und C zusammen verwendet werden), während Abhängigkeit sehr wohl transitiv ist (wie bereits erläutert).

Vor diesem Hintergrund lässt sich erkennen, dass die Bestimmung der indirekten Abhängigkeiten der Bestimmung der transitiven Hülle der Abhängigkeiten gleichkommt. Diese kann mittels des Floyd-Warshall-Algorithmus (in der Warshall-Variante) berechnet werden [29]. Hierfür muss zunächst ein gerichteter Graph erzeugt werden, in den alle deklarierten Abhängigkeiten als Kante eingefügt werden. Von diesem Graphen wird dann die transitive Hülle bestimmt, in der zwei Knoten A und B genau dann durch eine von A nach B gerichtete Kante verbunden sind, wenn die Erweiterung (transitiv) A von B abhängt. Der Floyd-Warshall-Algorithmus benötigt den Graphen in Form einer Adjazenzmatrix.

Auch die Relation der Exklusivität lässt sich in einen Graphen überführen. In diesem Graphen gibt es ebenfalls pro Erweiterung einen Knoten und jede Exklusivität wird als Kante dargestellt. Aufgrund der Symmetrie der Exklusivität kann dieser Graph aber ungerichtet sein.

Das Problem der Überprüfung simultaner Exklusitivät und Abhängigkeit reduziert sich nun darauf, sicherzustellen, dass es zwischen zwei Knoten (also zwischen zwei Erweiterungen) in maximal einem der beiden Graphen eine Kante gibt, wobei die Richtung keine Rolle spielt (denn wenn die Knoten exklusiv zueinander sind, darf es zwischen beiden keine Abhängigkeit geben – egal, in welche Richtung).

Anders formuliert, darf es im Graphen der Exklusivitäten keine Kante $\{A, B\}$ geben, für die in der transitiven Hülle der Abhängigkeiten die Kante (A, B) oder die Kante (B, A) existiert. Da die transitive Hülle als Adjazenzmatrix vorliegt, während die Exklusivitäten als Kantenliste vorliegen, kann bei m Exklusivitäten in $\mathcal{O}(m)$ über die Exklusivitäten iteriert werden und jeweils in $\mathcal{O}(1)$ die Existenz einer transitiven Abhängigkeit geprüft werden. Die Vertauschung der Reihenfolge, also die Iteration über transitive Abhängigkeiten und dann die Prüfung der Existenz einer Exklusivität, würde bei n Erweiterungen einen Aufwand von $\mathcal{O}(n^2)$ verursachen. Wenn vorher die Kantenliste der Exklusivitäten in $\mathcal{O}(n^2)$ in eine Adjazenzmatrix überführt wird, ist die anschließen-

de Existenzprüfung auch wieder in $\mathcal{O}(1)$ möglich, aber dennoch ist ersteres Vorgehen effizienter.

Der Algorithmus von Floyd-Warshall sorgt dafür, dass diese Überprüfung eine Gesamtlaufzeit in $\mathcal{O}(n^3)$ hat. Da die oben beschriebenen Probleme in beliebiger Tiefe von Abhängigkeiten auftreten können, ist jedoch die Bestimmung der transitiven Hülle nicht vermeidbar. Allerdings ist damit zu rechnen, dass die Anzahl aller Erweiterungen stets kleiner als 100 sein wird (andernfalls würde die Benutzbarkeit des Programms möglicherweise stark eingeschränkt). Daher ist eine kubische Laufzeit in diesem Fall als unbedenklich einzustufen.

Die Überprüfung der anderen vorgestellten Widerspruchsart, in der zwei (transitive) Abhängigkeiten einer Erweiterung zueinander exklusiv sind, lässt sich so umformulieren, dass sie ebenfalls die transitive Hülle verwendet. Darüber hinaus wurde jedoch kein Weg gefunden, ihre Laufzeit zu optimieren.

Da auch diese Überprüfung sich lediglich auf die Definitionen der Erweiterungen verlässt, wird auch sie in die Ausführung der automatisierten Tests eingebunden. So kann sichergestellt werden, dass keine fehlerhaften Erweiterungsdefinitionen veröffentlicht werden, ohne die normale Ausführungszeit zu beeinflussen.

4.2.4 Überprüfung der getroffenen Auswahl von Erweiterungen

Um die getroffene Auswahl an Erweiterungen auf die Einhaltung aller Restriktionen hin zu überprüfen, wurde ebenfalls zunächst eine fachliche Lösung gefunden. Für jede der ausgewählten Erweiterungen sind alle Abhängigkeiten und Exklusivitäten durchzugehen. Ist eine Abhängigkeit nicht ebenfalls ausgewählt worden oder falls eine Exklusivität ausgewählt worden ist, so ist die Kombination ungültig.

Die Laufzeit dieses Vorgehens liegt für n mögliche Erweiterungen in $\mathcal{O}(n^2)$. Dies liegt daran, dass zunächst über jede der (maximal n) ausgewählten Erweiterungen und dann über jede der Abhängigkeiten und Exklusivitäten iteriert werden muss. Da eine Erweiterung niemals zu einer Abhängigkeit exklusiv sein kann, beträgt die Summe der Abhängigkeiten und Exklusivitäten maximal n. Somit ist bereits eine Laufzeit von $\mathcal{O}(n^2)$ erreicht worden.

Nun bleibt noch die Prüfung, ob eine Abhängigkeit bzw. Exklusivität ausgewählt worden ist oder nicht, d.h. ob sie in der Liste der ausgewählten Erweiterungen liegt oder nicht. Im Falle einer normalen Liste läge die Laufzeit dieser Überprüfung in $\mathcal{O}(n)$. Allerdings kann diese Information auch als Array bool'scher Werte gespeichert werden, bei der als Index die ID jeder Erweiterung verwendet wird. So wäre die Überprüfung der Auswahl einer einzelnen Erweiterung in $\mathcal{O}(1)$ möglich und würde die Gesamtlaufzeit nicht weiter beeinflussen.

Ähnlich wie bei der Überprüfung der Umsetzbarkeit aller Restriktionen lässt sich jedoch auch für dieses Problem eine graphentheoretische Lösung finden. Da bereits Graphen bestimmt wurden, in denen Kanten für Abhängigkeit und Exklusivität eingetragen sind, können diese zunächst kopiert und dann zur Überprüfung dieses Problems verwen-

det werden. Die Kopie erfolgt in $\mathcal{O}(n^2)$, da eine $n \times n$-Adjazenzatrix und eine Kantenliste mit maximal Länge n^2 kopiert werden müssen.

Im Graphen der Abhängigkeiten sind Kanten nun als noch unerfüllte Bedingungen anzusehen. Die Streichung einer Kante bedeutet somit, dass die entsprechende Bedingung erfüllt worden ist. Nun ist über jede mögliche Erweiterung zu iterieren. Falls sie ausgewählt worden ist, so sind auf sie eingehende Kanten aus dem Graphen der Abhängigkeiten zu streichen. Andernfalls (d.h. wenn sie nicht ausgewählt worden ist) ist ihr Knoten mitsamt seiner ausgehenden Kanten zu streichen. Es sind genau dann alle Abhängigkeiten erfüllt, wenn nach der Iteration über alle möglichen Erweiterungen keine Kanten mehr in dem Graphen vorhanden sind.

Ähnlich ist für die Exklusivitäten zu verfahren. In diesem Graphen bedeutet die Existenz einer Kante, dass die zugehörige Exklusivität in der aktuellen Auswahl noch nicht ausgeschlossen werden konnte. Während über alle Erweiterungen iteriert wird, kann also für jede nicht ausgewählte Erweiterung der zugehörige Knoten zusammen mit seinen (ungerichteten) Kanten gestrichen werden. Auch die Exklusivitäten sind alle genau dann erfüllt, wenn sich am Ende der Iterationen keine Kante mehr im Graphen befindet.

Der erste Aspekt der Laufzeit dieser Verfahren ergibt sich dadurch, dass die Graphen in verwendbarer und modifizierbarer Form vorliegen müssen (d.h. als neu angelegte Adjazenzmatrizen). Die im letzten Kapitel berechnete Adjazenzmatrix der Abhängigkeit muss also, wie bereits beschrieben, lediglich kopiert werden, während der Graph der Exklusivität in eine Adjazenzmatrix überführt werden muss. Dies kann in $\mathcal{O}(n^2)$ geschehen.

Danach muss über jede Erweiterung iteriert werden und die zugehörigen Zeilen und Spalten der Adjazenzmatrizen modifiziert werden. Anschließend müssen die gesamten Matrizen auf die Existenz von Kanten hin überprüft werden. Beide Schritte geschehen nacheinander in jeweils $\mathcal{O}(n^2)$. Somit fordert der gesamte Prozess eine Laufzeit von $\mathcal{O}(n^2)$.

Alternativ zu den Adjazenzmatrizen könnten auch Kantenlisten verwendet werden. Dann müsste aber für die Löschung von Knoten, die in beiden Prozessen maximal für jede Erweiterung vorkommen könnte, jeweils die gesamte Liste durchlaufen werden. Es entstünde also auch hier ein Aufwand von $\mathcal{O}(n^2)$.

Die Betrachtung der Graphentheoretischen Lösung ergibt also in diesem Fall keine Verbesserung der Laufzeit. Nach persönlichem Empfinden ist die erste Lösung jedoch leichter zu verstehen und wird angesichts der gleichen Laufzeit aufgrund dieses Kriteriums ausgewählt und umgesetzt.

4.3 Implementierung konkreter Erweiterungen

Um die Funktionsfähigkeit des entworfenen Erweiterungssystems zu demonstrieren, werden exemplarisch einige Erweiterungen entwickelt. Zunächst werden die Installationen von React und Angular umgesetzt. Dadurch werden zwei der drei betrachteten Frameworks von GWA unterstützt. Vue als fehlendes Framework verfügt über einen Installationsprozess, der dem von Angular sehr ähnelt, weshalb seine Implementierung keine

neuen Konzepte erfordern würde.

Die initiale Projekterzeugung für beide Frameworks erfolgt über `npx`, einen Hilfsbefehl von NPM, der ein gewünschtes Paket temporär herunterlädt, installiert und sofort ausführt. Diesen Befehl werden auch weitere Erweiterungen nutzen, um stets die aktuellen Versionen von Bibliotheken und Werkzeugen zu installieren.

Aufgrund seiner zentralen Stellung wird als nächstes eine Erweiterung für TypeScript implementiert. Da alle untersuchten Frameworks jedoch ggf. TypeScript mitinstallieren, muss diese Erweiterung keinen Installationsprozess durchführen. Sie dient also zum einen als Auswahlmöglichkeit für TypeScript. Frameworks prüfen dann während ihrer Installation, ob diese Erweiterung ausgewählt wurde, um entsprechend fortzufahren.

Zum anderen ist die TypeScript-Erweiterung jedoch in der Lage, entsprechend den Wünschen von Nutzenden die TypeScript-Kompilerkonfiguration anzupassen. Diese Konfiguration wird in einer JSON-Datei vorgenommen. Aufgrund der tiefen Integration von JSON in JavaScript ist das Bearbeiten dieser Dateien in der Regel sehr simpel; allerdings verfügt diese Spezielle Datei über zusätzliche Syntax zum Schreiben von Kommentaren [11]. In den TypeScript-Konfigurationsdateien sind oft Kommentare am Ende von tatsächlichen Konfigurationszeilen vorhanden, die zudem auf eine bestimmte Weise eingerückt sind, sodass alle Kommentare unabhängig des sonstigen Inhalts ihrer Zeilen untereinander stehen.

Diese Kommentare würden durch eine Bearbeitung mit den in Node.js integrierten Funktionen verloren gehen. Daher wurden eigene Funktionen geschrieben, die nur für die konkret benötigten Konfigurationseigenschaften funktionieren, aber dabei die Kommentareinrückung beibehalten können.

Als weitere Kategorie von Erweiterungen werden CSS-Präprozessoren entwickelt. Die Auswahl der unterstützten Präprozessoren ergibt sich durch die von Angular unterstützen Präprozessoren. Bis auf einen werden diese auch von React unterstützt, wobei die Installation in React-Projekten von GWA selbst vorgenommen werden muss, während die Installation in Angular-Projekten per weitergabe eines CLI-Argumentes geschehen kann.

Die Installation in React-Projekten erfordert drei Schritte. Zunächst müssen für die Präprozessoren benötigte NPM-Pakete installiert werden. Daraufhin werden bestimmte Dateien aus dem Projektverzeichnis durch andere, vorher festgelegte Dateien ausgetauscht. Die eingesetzten Dateien haben einen konstanten Inhalt, der zwischen Projekten nicht variiert. Zuletzt müssen in einigen React-Dateien die Importierungen der ausgetauschen Dateien angepasst werden.

Der Schritt der Installation von NPM-Paketen ist für viele Erweiterungen notwendig. Da der zu verwendende Paketmanager von Nutzenden ausgewählt wird, wird, wie in der Konzeptionierung ausgearbeitet, eine Paketmanager-Strategie entworfen. Diese wird für die beiden zu unterstützenden Paketmanager NPM und Yarn implementiert. Bei der Auswahl des Paketmanagers wird eine Instanz der zugehörigen Strategie erzeugt und im weiteren Verlauf an sämtliche Erweiterungen gereicht, wo sie vollständig die Installation aller benötigten Pakete übernimmt.

Der Austausch der Dateien wird von Node.js-Funktionen übernommen und bedarf keiner weiteren Verallgemeinerung. Das Ändern der Importierungen wird von zwei Hilfsfunktionen übernommen, die die alten Importierungen entfernen und die neuen erzeugen, da dieser Schritt auch von anderen Erweiterungen benötigt wird.

Als Beispiel eines Werkzeuges, das ausschließlich Entwicklungszwecken dient und daher nur über Konfigurationsdateien verfügt und keine Auswirkungen auf den zu erzeugenden Produktivcode hat, wird eine Erweiterung für ESLint implementiert. Im Fall von Angular geschieht dies über ein NPM-Paket, welches erneut mit `npx` ausgeführt wird. Für sonstige Frameworks werden zunächst benötigte NPM-Pakete installiert, bevor eine an das Framework angepasste Konfigurationsdatei erzeugt wird. Diese Datei besteht größtenteils aus normalen JSON-Daten und ist daher, wie bereits erwähnt, leicht generierbar.

Im Rahmen der letzten entwickelten Erweiterung wird Unterstützung für Redux eingebaut. Diese Erweiterung ist interessant, da Redux eine reine JavaScript- / TypeScript-Bibliothek ist, weshalb sich ihre Installation in einem Projekt nur auf JavaScript- / TypeScript-Code auswirkt. Um einen leichteren Einstieg in die Bibliothek zu ermöglichen, soll für alle Frameworks eine Beispielkomponente erzeugt und in die Applikation eingebunden werden, die die Verwendung der Bibliothek demonstriert.

Die Erzeugung solchen Codes stellt eine besondere Herausforderung dar, da der Code sowohl in TypeScript als auch in JavaScript erzeugbar sein muss. Auf diese Problematik wird genauer in Kapitel 4.6.2 eingegangen. Darüber hinaus muss die generierte Beispielkomponente jeweils in das Projekt eingebunden werden. Da auch diese Aufgabe öfter auftreten wird, wird hierfür eine weitere Hilfsfunktion geschrieben.

4.4 Umsetzung des Dialogs

Der Dialog mit Nutzenden lässt sich grob in drei Aufgaben unterteilen. Die erste Aufgabe ist das Untersuchen der CLI-Argumente. In diesem Schritt werden keine Ausgaben erzeugt, aber da er auf einer manuellen Eingabe operiert, zählt er trotzdem zum Prozess des Dialogs.

Mit den vorgegebenen Optionen werden dann, sofern notwendig, weitere allgemeine Fragen gestellt. Hier haben Nutzende die Möglichkeit, den Namen des Projektes anzugeben, einen Paketmanager und die gewünschten Erweiterungen auszuwählen. Ist eine dieser Fragen bereits in den CLI-Argumenten beantwortet worden, so kann die entsprechende Frage übersprungen werden.

Als letzten Schritt des Dialogs sind dann weitere Fragen der einzelnen Erweiterungen zu stellen. Auch diese können bereits beantwortet worden sein und werden ggf. übersprungen.

4.5 Analyse der CLI-Argumente

Mithilfe der bereits erwähnten Bibliothek „commander“ können die CLI-Argumente mit sehr geringem Aufwand eingelesen und in gewissem Rahmen validiert werden. Dazu ist es notwendig, alle möglichen Argumente und ggf. die Typen der erwarteten zugehörigen Werte zu deklarieren.

Für die Angabe eines bool'schen Wertes reicht dann ein Parameter ohne zugehörigen Wert (z.B. `--use-some-library`), während Angabe einer Wahl von bestimmten Optionen zusätzlich die Angabe eines Wertes benötigt (z.B. `--package-manager npm`). Commander erzeugt bei der anschließenden Analyse der beim Befehlsaufruf übergebenen Argumente ein Objekt, bei dem jedem angegebenen Argument der entsprechende Wert (oder, falls kein Wert angegeben wurde, der bool'sche Wert `true`) zugewiesen ist. Wenn eine Option beim Befehlsaufruf nicht angegeben wurde, so wird sie in das ausgegebene Objekt nicht aufgenommen.

Bool'sche Optionen können daher nicht durch Weglassung auf den Wert `false` gesetzt werden. Um sie trotzdem negierbar zu machen, kann eine weitere Option mit dem Präfix `no-` erstell werden (z.B. `--no-use-some-library`). Diese wird von commander automatisch als Negation der zugehörigen Option (in dem Beispiel also der Option `--use-some-library`) erkannt. Natürlich kann dieselbe Funktionalität auch mit anderen Benamungen umgesetzt werden; dies ist dann aber mit höherem Aufwand verbunden, da die zugehörige Logik von Hand implementiert werden muss.

Um alle Fragen, die im Laufe des Dialogs gestellt werden könnten, durch solche CLI-Argumente abzudecken, muss es möglich sein, dass Erweiterungen ebenfalls Argumente deklarieren können. Dies wird umgesetzt, indem Erweiterungen eine Funktion definieren können, die auf dem überreichten commander-Objekt frei Argumente definieren kann.

Daraufhin werden die Argumente von commander analysiert. Die allgemeinen Metadaten werden herausgefiltert und an die Stellung der entsprechenden Fragen weitergegeben. Alle weiteren Argumente können im allgemeinen Teil jedoch nicht weiter verarbeitet werden und müssen daher als Gesamtheit im Rahmen des weiteren Dialogs an die Erweiterungen überreicht werden (siehe Abschnitt 4.5.2).

Vor der Weitergabe der per CLI-Argumente übergebenen allgemeinen Daten müssen diese jedoch validiert werden. Insbesondere bezieht sich dies auf die Überprüfung der Auswahl der Erweiterungen (siehe Kapitel 4.2.4). Sofern keine Erweiterung per CLI-Argument ausgewählt wurde, kann diese Validierung übersprungen werden, da die zugehörige Frage später gestellt werden muss und die Validierung dabei erfolgen kann.

Weniger eindeutig ist jedoch, wie mit der Angabe einer oder mehrerer gewünschter Erweiterung(en) per CLI-Argumente umzugehen ist, da nicht eindeutig erkennbar ist, ob die so getroffene Auswahl vollständig sein soll. Falls sie nicht vollständig wäre, müsste die zugehörige Frage gestellt werden, was aber eine programmatische Verwendung von GWA deutlich erschweren würde. Daher ist davon auszugehen, dass die per CLI-Argumente getroffene Auswahl an Erweiterungen vollständig ist, sobald mindestens eine Erweiterung ausgewählt wurde. In diesem Fall ist dann die Überprüfung dieser Auswahl

durchzuführen und im Fehlerfall ist die Ausführung von GWA abzubrechen.

4.5.1 Stellen allgemeiner Fragen

In diesem Abschnitt des Dialogs werden sowohl Metadaten des zu erzeugenden Projektes gesammelt als auch die Auswahl der zu installierenden Erweiterungen getroffen. Die Sammlung der Metadaten ist ohne besonderen Aufwand umsetzbar, da alle hierfür relevanten Fragetypen (Freitext-Eingabe, Auswahl eines von n Elementen) von inquirer zur Verfügung gestellt werden und direkt verwendet werden können.

Bemerkenswert ist lediglich, dass vor der Frage, welcher Paketmanager verwendet werden soll, geprüft wird, welche Paketmanager überhaupt installiert sind. Auch, wenn nur ein Paketmanager installiert ist und somit gar keine Auswahl getroffen werden kann, wird die Frage gestellt und erhält lediglich ergänzende Bemerkungen, dass andere Paketmanager nicht zur Verfügung stehen. Diese Entscheidung wurde getroffen, um unerfahrene Entwickelnde zumindest darüber zu informieren, dass es weitere Paketmanager gibt. Außerdem kann diese Frage leicht übersprungen werden, indem die entsprechende Entscheidung per CLI-Argument `--package-manager` spezifiziert wird. Um dies weiter zu erleichtern, wurde auch der Alias `-p` eingerichtet.

Die Frage zur Auswahl der zu installierenden Erweiterungen gestaltet sich etwas schwieriger. Sie muss von einer allgemeinen Stelle aus gestellt werden, da sie erweiterungsübergreifend ist, aber muss dennoch erweiterungsspezifische Inhalte darstellen können. Um auch diese Frage möglichst verständlich und informativ zu gestalten, müssen Erweiterungen neben ihrem Namen auch eine Kurzbeschreibung, einen Link zu mehr Informationen und die Kategorie der Erweiterung angeben. Name, Kurzbeschreibung und Link werden in die Frage eingebaut, während die Kategorie lediglich für eine sinnvolle Gruppierung und Trennung der Erweiterungen genutzt wird.

Inquirer ermöglicht bei allen Fragen die Angabe einer Funktion, die eine Antwort auf die Frage entgegennimmt und diese validiert. Auf diesem Weg ist es möglich, die in Kapitel 4.2.4 beschriebene Überprüfung der getroffenen Auswahl durchzuführen. Wird ein Fehler festgestellt, so wird dieser von inquirer ausgegeben und die Frage wird beibehalten, bis eine Antwort die Validierung besteht. So wird garantiert, dass die weiteren Schritte von GWA nicht ausgeführt werden können, bis eine gültige Auswahl von Erweiterungen getroffen wurde.

4.5.2 Übergabe des Dialogs an Erweiterungen

Da auch Erweiterungen in der Lage sein müssen, im Rahmen des Dialogs Fragen zu stellen, können sie eine Funktion definieren, die nach dem Stellen eventueller Fragen ein Objekt zurück gibt, das die aus den Fragen resultierende Konfiguration enthält. Damit keine bereits beantworteten Fragen gestellt werden und die per CLI-Argumente spezifizierten Optionen bei der Erzeugung dieses Konfigurationsobjektes berücksichtigt werden können, müssen alle CLI-Argumente ebenfalls an diese Funktion übergeben werden.

Um den Dialog möglichst übersichtlich zu gestalten, ist es sinnvoll, die Fragen einzelner Erweiterungen visuell voneinander zu trennen, damit Nutzenden bewusst ist, worauf sich jede aktuelle Frage bezieht. Hierfür soll vor den Fragen jeder Erweiterung der Name der Erweiterung als Überschrift der folgenden Fragen ausgegeben werden. Außerdem soll zwischen den Fragen der letzten Erweiterung und der Überschrift der Fragen der nächsten Erweiterung eine Leerzeile eingefügt werden.

Um diese Formatierung zu garantieren und möglichst wiederholungsfreien Code zu erzeugen, ist diese Formatierung außerhalb der Erweiterungen umzusetzen. Dies hat zudem den Vorteil, dass Randfälle (z.B. Ausgaben vor der ersten / nach der letzten Erweiterung) leichter betrachtet werden können, da Erweiterungen beim Stellen von Fragen nicht wissen, ob vor oder Nach ihnen Fragen gestellt wurden / werden.

Diese Umsetzung ist jedoch fehlerhaft, falls aufgrund von CLI-Argumenten bestimmte Fragen ausgesetzt werden. Wenn alle Fragen einer Erweiterung ausgesetzt werden, dann sollte für die Erweiterung auch keine Leerzeile oder Überschrift ausgegeben werden, was bei dem bisher beschriebenen Ansatz aber geschehen würde.

Um dieses Problem zu lösen, wird an die Funktionen zum Stellen von Fragen als weiterer Parameter eine Funktion übergeben, die zunächst nur inquirer ummantelt und jeden Aufruf direkt weiterleitet. Vor der Weiterleitung eines Aufrufes prüft sie jedoch, wie viele Fragen gestellt werden. Sobald eine Erweiterung (mindestens) eine Frage stellt, gibt sie vor dem Weiterleiten die trennende Leerzeile sowie die Überschrift aus. Stellt eine Erweiterung also keine Fragen, wird beides nicht ausgegeben.

Dieses Vorgehen hat auch den Vorteil, dass mit besonders geringem Aufwand im Rahmen der automatischen Tests das Stellen von Fragen gesteuert werden kann, ohne, dass die Ausgaben der Tests von Ausgaben von inquirer unterbrochen werden. Hierfür muss lediglich die übergebene Funktion darauf verzichten, inquirer aufzurufen und im Rahmen der Tests gewünschte Antworten ohne das Stellen entsprechender Fragen zurück geben.

4.6 Installation von Erweiterungen

Nachdem alle benötigten Informationen eingeholt und verifiziert worden sind, ist nun die Installation der Erweiterungen durchzuführen. Hierfür wird in einer bestimmten Reihenfolge (siehe Kapitel 4.6.1) für jede der ausgewählten Erweiterungen zunächst geprüft, ob sie übersprungen werden soll. Falls dem nicht so ist, wird dann eine von ihr definierte Funktion zur Installation aufgerufen. Diese erhält als Parameter alle gesammelten Metadaten sowie die zum gewählten Paketmanager gehörige Strategie und eine Liste mit allen ausgewählten Erweiterungen mitsamt ihren speziell getroffenen Einstellungen.

Um Nutzenden den Fortschritt von GWA mitzuteilen, wird vor dem Aufruf der Installationsfunktion ausgegeben, dass nun mit der Installation der entsprechenden Erweiterung begonnen wird. Diese Meldung wird nicht ausgegeben, wenn die Erweiterung übersprungen wird. Dies ist der Grund, warum das Überspringen der Installation einer Erweiterung gesondert überprüft werden muss, anstatt ggf. in der Installationsfunktion nichts auszuführen.

Im Anschluss an alle Installationen haben Erweiterungen die Möglichkeit durch eine von ihnen definierte Funktion weitere Informationen auszugeben. Dies kann beispielsweise genutzt werden, um erste Schritte mit einem Framework zu erläutern oder erneut auf die Dokumentation zu verweisen.

4.6.1 Bestimmung der Installationsreihenfolge

Wie bereits in der Konzeptionierung erläutert wurde, muss es möglich sein, die Installationsreihenfolge der Erweiterungen festzulegen. Dabei ist nicht die Festlegbarkeit der gesamten Reihenfolge relevant, sondern es müssen lediglich gewisse Bedingungen eingehalten werden.

Beispielsweise muss das Framework zuerst installiert werden, da es die notwendige Ordnerstruktur erzeugt. Die Installation von husky und ESLint sollte sehr spät erfolgen, damit alle im Projekt existierenden Dateiendungen bei entsprechenden Skripten berücksichtigt werden können. Dies sind also zwei Beispiele für „globale“ Bedingungen die von einer Erweiterung an den gesamten Kontext gestellt werden.

Es gibt aber auch eine weitere Art von Bedingung, bei der eine Erweiterung nicht vor einer anderen Erweiterung installiert werden darf. Ein solches Beispiel ist, dass husky nach Prettier und ESLint installiert werden muss, da sonst bei den durch husky eingerichteten Automatisierungen die anderen Werkzeuge nicht einbezogen werden. Dieses Konzept ähnelt dem der Abhängigkeiten, kann jedoch ausdrücklich nicht durch die bereits existierenden Abhängigkeiten zwischen Erweiterungen abgebildet werden. Sonst müsste beispielsweise TypeScript vor Angular installiert werden, da Angular von TypeScript abhängig ist. Dies ist jedoch nicht möglich, da (wie bereits erläutert) Frameworks als allererstes installiert werden müssen.

Obwohl sich diese Anforderungen wie geschehen kategorisieren lassen, stellen sie eher eine Ansammlung von Einzelfällen dar. Neben Frameworks gibt es keine Erweiterungen, die als erstes oder letztes zu installieren sind. Die Anforderung von Husky und ESLint ist nach bisherigem Kenntnisstand ebenfalls ein Einzelfall. Da nur begrenzt viele Bibliotheken und Werkzeuge analysiert wurden, kann es darüber hinaus sein, dass es noch weitere Arten von Bedingungen an die Installationsreihenfolge gibt, die für zukünftige Erweiterungen relevant werden. Die einzige Anforderung, die häufig festgestellt wurde, war die, dass eine Erweiterung nicht vor einer oder mehreren anderen installiert werden darf.

Alternativ kann durch händisches Festlegen der Installationsreihenfolge gewährleistet werden, dass sämtliche Anforderungen erfüllt werden. Dieser Ansatz hat den Nachteil, dass er unübersichtlicher ist und leichter bei der Ergänzung neuer Erweiterungen Fehler gemacht werden können. Dafür ist der Implementierungsaufwand deutlich geringer.

Insbesondere, da die Implementierung der bisher beobachteten Anforderungen in Form von inhaltlichen Regeln keine Zukunftssicherheit bietet und dennoch deutlich komplexer wäre, wurde nach der zweiten vorgestellten Methode vorgegangen. Alle Auswählbaren Erweiterungen wurden in einem Array derart aufgelistet, dass die Reihenfolge der Erwei-

terungen in dem Array die Installationsreihenfolge festlegt. Dieses Array wird zugleich überall dort verwendet, wo eine vollständige Liste aller Erweiterungen benötigt wird.

4.6.2 Erzeugung von TypeScript- und JavaScript-Dateien

Im Rahmen der Installation vieler Erweiterungen sind JavaScript- bzw. TypeScript-Dateien (mit entsprechendem Code) zu erzeugen. Hierfür lassen sich trivialerweise Beispieldateien anlegen, von denen dann gemäß der getroffenen Auswahl die richtige ausgewählt und in das neue Projekt kopiert wird. Dieser Ansatz hat jedoch den Nachteil, dass er viel Code verursachen würde, der (bis auf die Existenz von Typen) dupliziert wäre. Das würde die Wartung etwas aufwändiger und unangenehmer machen.

Zudem könnten zwei in diesem Sinne äquivalente Dateien versehentlich verschieden bearbeitet werden, sodass in nur einer der beiden Dateien ein Fehler eingeführt wird. Derartige Fehler können nur durch sehr ausgiebiges Testen gefunden werden und bleiben daher leicht unbemerkt.

Aus diesen Gründen wurde ein Ansatz entwickelt, der aus nur einer Vorlage sowohl entsprechende JavaScript- als auch TypeScript-Dateien erzeugen kann. Mithilfe des TypeScript-Kompilers, der ohnehin aus Entwicklungsgründen in das Projekt eingebunden ist, kann TypeScript-Code zu JavaScript-Code umgewandelt werden. Der Kompiler akzeptiert dabei ein Konfigurationsobjekt, in dem festgelegt werden kann, mit welcher Version des EcmaScript-Standards das JavaScript kompatibel sein soll. Indem hier der neuste Standard spezifiziert wird, ähnelt der resultierende JavaScript-Code weitestgehend bis auf die Typinformationen dem ursprünglichen Code.

Beim Kompilieren werden jedoch zuvor vorhandene Leerzeilen entfernt, die aus Formatierungs- und Verständlichkeitsgründen relevant sind. Viele dieser Zeichen lassen sich wieder einfügen, indem das Kompilat mit Prettier formatiert wird. Bei einigen Durchläufen dieses Prozesses mit verschiedenen Dateien ist jedoch aufgefallen, dass Leerzeilen, die zur gedanklichen Trennung von Codeblöcken eingefügt wurden, nicht von Prettier wiederhergestellt werden konnten.

Um auch diese Leerzeilen in die generierten JavaScript-Dateien aufnehmen zu können, wird nach dem Kompilieren das Kompilat mit dem ursprünglichen Code verglichen. Dadurch werden entfernte Leerzeichen / -zeilen gefunden und wieder in das Kompilat eingefügt. Hierbei werden jedoch in bestimmten Fällen zu viele Zeichen eingefügt (z.B. werden Leerzeilen, die aufgrund von Typdefinitionen notwendig waren, eingefügt, obwohl die Typdefinitionen nicht mehr vorhanden sind und damit die Leerzeichen / -zeilen nicht benötigt werden). Diese überflüssigen Zeichen können jedoch zuverlässig mit Prettier entfernt werden, solange der ursprüngliche Code den Formatierungsregeln entspricht, mit denen Prettier aufgerufen wird.

Auf diese Art und Weise ist es also möglich, Dateivorlagen in TypeScript zu schreiben und zu pflegen, die bei der Projektinstallation entweder direkt kopiert oder zunächst zu JavaScript umformatiert und dann in das neue Projekt eingefügt werden. Durch die Verwendung des tatsächlichen TypeScript-Kompilers kann garantiert werden, dass die

auf diese Art erzeugten Dateien dieselbe Funktionalität bieten.

4.6.3 Framework-spezifische Codegeneration

Neben solchem Allgemeinen JavaScript- / TypeScript-Code muss für einige Erweiterungen auch Framework-spezifischer Code erzeugt werden. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn Komponenten oder CSS-Bibliotheken zum Projekt hinzugefügt werden sollen.

Die Anforderungen, die hierfür existieren, sind zwischen den Frameworks teilweise unterschiedlich. In allen Frameworks gibt es jedoch eine Datei, in der das Einstiegselement der DOM-Struktur erzeugt wird (in Angular ist dies die `src/app/app.component.html`, in React ist es die `src/App.tsx` und in Vue.js ist es die `src/App.vue`), in die neue Komponenten einzufügen sind.

Dieses Einfügen neuer Komponenten soll immer an derselben Stelle erfolgen, sodass sich dort alle neuen, durch Erweiterungen hinzugefügten Komponenten nacheinander ansammeln. Eine Fachlich orientierte Lösung wäre also in der Lage, die genannten Dateien korrekt zu parsen. Änderungen würden auf dem resultierenden abstrakten Syntaxbaum vorgenommen werden, bevor aus diesem wieder der ursprüngliche Code zzgl. der Modifikationen erzeugt würde. Die so vorgenommenen Änderungn sollten minimal und korrekt formatiert sein.

Alternativ dazu wäre es, da diese entsprechenden Dateien bei jeder Installation gleich sind, möglich, über reine Textsuche die Stelle zu finden, in der die neue Komponente einzusetzen ist. Dort würde der entsprechende Code eingefügt werden und anschließend würde mithilfe von Prettier die korrekte Formatierung der Datei gewährleistet werden.

Aufgrund der verschiedenen Syntaxen der drei Frameworks müsste beschriebene fachliche Lösung für jedes Framework einzeln entwickelt werden, was nur mit hohem Aufwand umsetzbar wäre. Der Text-basierte Ansatz wäre sehr fragil, da bereits geringfügige Änderungen der durch Frameworks erzeugten Dateien dazu führen könnten, dass neue Komponenten nicht mehr eingefügt werden können.

Da aber auch der fachliche Ansatz von der genauen DOM-Struktur abhängt, die erzeugt werden würde, ist auch er für solche Fehler anfällig. Aufgrund der deutlich geringeren Komplexität wurde deshalb der Text-basierte Ansatz bevorzugt und für alle Frameworks implementiert.

Neben dem Einfügen von Komponenten gibt es noch weitere Änderungen, die vornehmbar sein müssen. In einem Angular-Projekt muss es möglich sein, bestimmte Arrays in einer TypeScript-Datei zu modifizieren. In React-Projekten hingegen muss es möglich sein, neue DOM-Elemente derart hinzuzufügen, dass sie andere (bereits existierende) Elemente umgeben. Beide Probleme wurden ebenfalls aus den bereits beschriebenen Gründen mit text-basierten Ansätzen gelöst.

```
TS2345: Argument of type
'Observable<DistinctQuestion<Answers>>' is not assignable to
parameter of type 'QuestionCollection<Answers>'.
  Type 'Observable<DistinctQuestion<Answers>>' is missing the
  following properties from type
  'Observable<DistinctQuestion<Answers>>':
  _isScalar, _trySubscribe, _subscribe
```

Listing 1: TypeScript-Fehlermeldung bei der Verwendung von inquirer mit einem RxJS-Observable

4.7 Probleme

Während der Entwicklung sind einige Probleme aufgetreten, mit denen bei der Konzeptionierung nicht gerechnet worden ist. Die folgenden Unterkapitel beschreiben diese Probleme und wie sie gelöst worden sind.

4.7.1 Falsche Typdefinitionen von inquirer

Wie bereits beschrieben worden ist, wurde für die Entwicklung von GWA TypeScript verwendet. Da aber einige der verwendeten Bibliotheken, darunter inquirer [15], nicht in TypeScript entwickelt wurden und auch keine eigenen von Hand erzeugten Typdefinitionen beinhalten, müssen diese Typdefinitionen aus dritten Quellen bezogen werden.

Dieses Problem ist weit verbreitet und kann häufig mittels des DefinitelyTyped-Projektes gelöst werden. Dies ist ein großes Projekt, was für derartige NPM-Pakete Typdefinitionen sammelt und als gesonderte NPM-Pakete veröffentlicht [10].

Zu Beginn der Entwicklung ist der in Listing 1 aufgeführte TypeScript-Fehler entstanden, der sich nicht durch Fehler im selbstgeschriebenen Code erklären lies. Besonders ungewöhnlich an dem Fehler ist, dass zwei identisch benannte Typen (woraus in der Regel folgt, dass die Typen auch tatsächlich identisch sind) zueinander inkompatibel sind.

Bei Nachforschungen in den Abhängigkeiten, aus denen die beiden betroffenen Werte stammten, stellte sich heraus, dass zwei Verschiedene Versionen von RxJS verwendet wurden, deren Typdefinitionen zueinander inkompatibel waren. Konkret hatten die aus DefinitelyTyped stammenden Typdefinitionen von inquirer eine Abhängigkeit auf eine veraltete Version von RxJS deklariert, während GWA von der aktuellen Version abhängig war.

Dieser Fehler lässt sich auf zwei Wege lösen. Durch die einfache Löschung der lokalen Installation der veralteten Version von RxJS wird automatisch in den Typdefinitionen von inquirer die (weiterhin installierte) aktuelle Version von RxJS verwendet. Diese Lösung hat allerdings den Nachteil, dass die Löschung der veralteten Version nach jeder

Installation oder Verlinkung von GWA mit NPM erneut vorgenommen werden muss, da sie im Rahmen der entsprechenden Befehle erneut installiert wird.

Alternativ kann die Abhängigkeit der Typdefinitionen von inquirer aktualisiert werden. Hierfür wurde in dem DefinitelyTyped-Repository ein Pullrequest gestellt[18], der aber aufgrund mehrerer anderer Abhängigkeiten auf diese Typdefinitionen besondere Überprüfung erforderte.

Während diese Überprüfung stattfand, konnte das Problem mit dem ersten Lösungsansatz umgangen werden. Seit der am 6. September 2021 veröffentlichten Version 8.1.0 der Typdefinitionen von inquirer ist das Problem jedoch gänzlich gelöst.

4.7.2 Umgebungsbasierte Probleme

Im Rahmen der meisten Installationsprozesse müssen verschiedene NPM-Pakete als Befehle ausgeführt werden. Beispielsweise wird zum Installieren von React der Befehl `npx create-react-app <Projektname>` ausgeführt. Hierfür wird die Node.js-interne Bibliothek `child_process` verwendet. Diese ermöglicht das Erzeugen und überwachen von neuen Prozessen.

In Unix-basierten Betriebssystemen wie Linux oder macOS lässt sich mit dieser Bibliothek problemlos der beispielhaft genannte Befehl `npx create-react-app <Projektname>` ausführen. Auf einem Windows-Computer hingegen führt der Aufruf zu einem Fehler.

Das durch diesen Befehl aufgerufene Programm `npx` kann in Unix-basierten Betriebssystemen direkt in einem neuen Prozess gestartet werden. Es liegt in Form einer JavaScript-Datei vor, an deren Beginn deklariert wird, dass diese von Node.js ausgeführt werden muss. Ist Node.js installiert, so geschieht dies automatisch.

Auf Windows-Computern wird `npx` jedoch als `.cmd`-Datei installiert. Diese sind in Windows nicht direkt in einem Prozess ausführbar, sondern können nur von der Kommandozeile (der CMD) ausgeführt werden [23]. Es muss also zunächst in einem neuen Prozess die CMD aufgerufen werden, damit diese dann `npx` ausführen kann.

Aufgrund dessen, dass die Entwicklung ausschließlich in einer Unix-basierten Umgebung[19] stattfand, ist dieser Fehler nur aufgefallen, als Dritte GWA auf eigenen Computern getestet haben. Daraufhin wurde darauf geachtet, GWA sowohl in Unix-basierten Umgebungen als auch auf einem Windows-System ausgiebig zu testen, wobei weitere leicht zu lösende Probleme (wie die Verwendung falscher Trennzeichen für Ordnerstrukturen) aufgefallen sind.

Durch die Verwendung anderer Werkzeuge (wie der Framework-spezifischen CLIs) zur Installation bestimmter Bibliotheken kann es geschehen, dass auf einem Computer vorinstallierte Versionen dieser Werkzeuge einen Einfluss auf die Ausführung von GWA

[18] `https://github.com/DefinitelyTyped/DefinitelyTyped/pull/54885`

[19] Es wurde zwar ein Windows-Computer genutzt, auf dem aber Windows Subsystem for Linux (`https://docs.microsoft.com/en-us/windows/wsl/about`) installiert war. Die Entwicklung hat ausschließlich in einer damit eingerichteten Virtuellen Maschine mit Ubuntu stattgefunden.

haben. Solche Einflüsse müssen ausgeschlossen werden, um ein einheitliches Verhalten des Programms gewährleisten zu können.

Außerdem muss natürlich sichergestellt werden, dass diese Abhängigkeiten auch dann verwendbar sind, wenn Nutzende sie nicht zuvor installiert haben. Da viele dieser Werkzeuge im Rahmen der Konzeptionierung installiert werden mussten, fällt es im Rahmen der Entwicklung nicht auf, wenn diese Installation nicht stattfindet sondern die Abhängigkeit fälschlicherweise als bereits installiert vorausgesetzt wird.

Um derartige Probleme auch während der Entwicklung feststellen zu können, lässt sich eine Virtuelle Maschine (VM) erzeugen, auf der GWA ausgeführt wird. Zum Erzeugen solcher VMs wird Docker verwendet, da so mit einer Konfigurationsdatei festgelegt werden kann, welche Abhängigkeiten vor der Ausführung von GWA bereits installiert sein sollen und welche nicht. Dieser Ansatz wird im Rahmen der Evaluierung (Kapitel 5) ausführlicher erläutert, aber bereits während der Entwicklung konnten auf diese Weise fehlende Abhängigkeitsinstallationen entdeckt werden.

5 Evaluierung

Die Feststellung des Erfolgs der Implementierung erfolgt in zwei Schritten. Zunächst wird in Bezug auf die bei der Konzeptionierung erarbeiteten Features betrachtet, ob alle gewünschten Funktionalitäten implementiert wurden. Daraufhin ist anhand bestimmter Kriterien zu überprüfen, ob die implementierten Features funktionieren.

5.1 Evaluierung der umgesetzten Features

In Kapitel 3.3 ist eine vollständige Liste aller gewünschter Features erfasst worden. Diese umfasst vor allem Features, die für Nutzende von Interesse sind, erwähnt aber auch Aspekte der Erweiterbarkeit und Vorbereitung auf zukünftige Entwicklung. Im folgenden wird untersucht, ob all diese Ziele erreicht werden konnten.

Das erste erwähnte Feature ist die interaktive und informative Auswahl von Bibliotheken und Werkzeugen. Es konnte ein Fragebogen umgesetzt werden, der genau eine solche Auswahl ermöglicht. Vor und nach dieser Selektion sind weitere Fragen möglich, wobei bereits über CLI-Argumente beantwortete Fragen nicht erneut gestellt werden, sodass die Konfiguration standardmäßig komplett interaktiv ist, aber auf Wunsch auch ohne jegliche Interaktion stattfinden kann.

Aufgrund der Typdefinition von Erweiterungen ist es unmöglich, eine Erweiterung zu GWA hinzuzufügen, die nicht über grundlegende Metadaten verfügt, worunter insbesondere der Name der Erweiterung, ihre Beschreibung sowie ein Link zu weiteren Informationen zählen. Somit sind die Ziele der Interaktivität und der Informativität als erfüllt zu betrachten.

Bei der Umsetzung der Fragen war außerdem darauf zu achten, dass keine unzulässige Konfiguration auswählbar ist. Dieses Feature konnte umgesetzt werden, indem nach jeder

Frage die gegebene Antwort überprüft und ggf. zurückgewiesen wird. Nutzende haben im Fall einer unzulässigen Antwort dann weiterhin die Möglichkeit, ihre Antwort zu bearbeiten.

Es wäre schöner gewesen, Nutzenden bereits während der Beantwortung jeder Frage Rückmeldung zu der Gültigkeit der aktuell geleisteten Antwort zu geben. Da die für den Dialog verwendete Bibliothek jedoch kein solches Feature anbietet, wird stattdessen bei jeder Frage und ggf. neben jeder Antwortmöglichkeit angegeben, welche Einschränkungen gelten. Nutzende können basierend auf diesen Informationen versuchen, unzulässige Antworten zu vermeiden, werden aber zusätzlich beim Versuch der Einreichung jeder Antwort daran gehindert, fehlerhafte Antworten zu geben.

Diese Validierung findet auch statt, falls bestimmte Antworten schon im Rahmen der CLI-Argumente gegeben werden. Dabei fehlschlagende Validierungen führen jedoch zu einem fehlerhaften Beenden von GWA, um eine automatische Benutzung zu ermöglichen. Diese Entscheidung hat sich bereits bei der Erstellung automatischer Tests als hilfreich erwiesen. Auch das gewünschte Feature der Antwortvalidierung wurde also erfüllt.

Ebenfalls umgesetzt werden konnten die Auswählbarkeit des Paketmanagers sowie die Installation über Framework-spezifische CLIs wo sie möglich ist. Damit kann, wie bereits bei der Konzeptionierung erläutert, die zukünftige Pflegbarkeit der erzeugten Projekte erleichtert werden, da die für das jeweilige Framework empfohlenen Werkzeuge genutzt werden können.

Die Umsetzung von Erweiterungen konnte nur etwas eingeschränkter geschehen. Zwar wurden mehrere verschiedene Kategorien von Erweiterungen umgesetzt, darunter Werkzeuge wie Frameworks und CSS-Präprozessoren, aber auch Bibliotheken wie Redux. Allerdings ist ist darauf verzichtet worden, Erweiterungen für Werkzeuge und Bibliotheken zum automatischen Testen zu schreiben.

Diese Erweiterungen hätten sich von den implementierten Erweiterungen deutlich unterschieden, da sie einen großen Einfluss auf andere Erweiterungen gehabt hätten. Bei ihrer Installation hätten nämlich nicht nur die entsprechenden Werkzeuge / Bibliotheken installiert und eingebunden werden müssen, sondern es hätten sämtliche bisher existierenden Tests auf die ausgewählte Erweiterung angepasst werden müssen. Darüber hinaus hätten auch, sofern sinnvoll, von allen anderen Erweiterungen Tests basierend auf den ausgewählten Werkzeugen und Bibliotheken erzeugt werden müssen. Beispielsweise müsste demnach die Redux-Erweiterung für die erzeugten Komponenten ebenfalls Tests generieren.

Aufgrund der hohen Komplexität dieses Features und dem begrenzten, im Rahmen dieser Arbeit leistbaren Arbeitsumfangs wurde vorerst darauf verzichtet, Erweiterungen für automatische Tests umzusetzen. Diese Erweiterungen sind jedoch für die weitere Entwicklung von GWA geplant und werden daher im Kapitel 6 erneut thematisiert werden.

Obwohl dies nicht explizit als Feature gewünscht wurde, wurde außerdem bei der Entwicklung sehr darauf geachtet, dass der Code von Dritten erweiterbar und veränderbar ist. Dies ist vor allem durch automatische Tests gewährleistet worden.

5.2 Sicherstellung der Funktionalität

Die Überprüfung der Korrektheit einiger Features, insbesondere der Installation von Erweiterungen, ist nur mit hohem Aufwand ausführlich möglich. Für jede Erweiterung müsste betrachtet werden, welche Installationsschritte sie durchführen soll. Häufige Schritte wie die Installation eines NPM-Pakets sind leicht zu überprüfen, aber bei außergewöhnlicheren Schritten wie der Ergänzung einer Komponente im Falle der Redux-Erweiterung müsste die erzeugte Applikation lokal gestartet werden und es müsste von Hand verifiziert werden, dass die Komponente eingefügt worden ist und über ihre erwartete Funktionalität verfügt.

Außerdem werden einige Features durch die Auswahl bzw. die Nicht-Auswahl anderer Erweiterungen aktiviert bzw. deaktiviert. Es müssen zur vollständigen Überprüfung solcher Erweiterungen also mehrere Projekte eingerichtet und überprüft werden.

Aufgrund dieses hohen Umfangs wären manuelle Tests mit einem großen zeitlichen Aufwand verbunden. Außerdem wäre die Durchführung der Tests an vielen Stellen gleich und daher anfällig für Flüchtigkeitsfehler.

Gleichzeitig ist die Automatisierung dieser Tests aufgrund ihrer Vielfältigkeit nur schwer möglich. Für viele Erweiterungen müssten spezielle Tests angefertigt werden und die Überprüfung bestimmter Features (wie die Funktionalität der durch die Redux-Erweiterung eingebundene Komponente) ließe sich am besten über Ende-zu-Ende-Tests mithilfe entsprechender Werkzeuge realisieren. Genau solche Tests sollen künftig über Erweiterungen installierbar sein, aber dann müssten sie zu diesen Evaluierungszwecken auch dann in Projekte eingebaut werden können, wenn sie eigentlich gar nicht Teil der zu testenden Konfiguration sein sollen.

Während der manuellen Tests, die im Rahmen der Entwicklung durchgeführt wurden, hat sich jedoch gezeigt, dass sich die meisten solcher detaillierter Fehler gut durch Unit-Tests abdecken ließen. Die danach übrig gebliebenen Fehler waren ausnahmslos derart schwerwiegend, dass entweder der Installationsprozess oder das Bauen der resultierenden Applikation fehlgeschlagen hat.

Auf diese Beobachtung hin wurde eine vereinfachte Prüfung von Installationen erarbeitet, die sich leicht automatisieren lässt. Eine zu prüfende Konfiguration wird an GWA weiter gegeben. Im Anschluss an eine erfolgreiche Installation wird das Projekt gebaut und sofern diese beiden Prozesse fehlerfrei laufen gilt das Projekt als erfolgreich eingerichtet.

Mithilfe von Docker können beliebige Konfigurationen innerhalb eines Containers durchgeführt werden, also in einem Kontext mit isoliertem Datei- und Betriebssystem aber im Gegensatz zu einer VM ohne isolierten Kernel. Ein TypeScript-Skript orchestriert die Erzeugung und Löschung der Container sowie die Ausführung der Installations- und Baubefehle innerhalb der Container. Im Anschluss an die automatisch durchgeführten Befehle wird jeder Container gespeichert, damit die getroffene Installation für weitere manuelle Tests zur Verfügung steht.

In diesem Skript kann festgelegt werden, welche Konfigurationen zu überprüfen sind.

Da während der Entwicklung viele Probleme durch die Kombination bestimmter Erweiterungen entstanden sind, werden bei diesen Tests alle Erweiterungen in möglichst umfangreichen Projekten getestet. Unter Beachtung von Abhängigkeiten und Exklusivitäten werden also maximal viele Erweiterungen zusammen installiert.

Zum Zeitpunkt des Schreibens dieser Arbeit liegen vor allem[20] zwei Arten von Exklusivitäten vor: die zwischen Frontend-Frameworks und die zwischen CSS-Präprozessoren. Um trotz dieser Exklusivitäten alle möglichen Konstellationen überprüfen zu können, wird jede (zulässige) Kombination eines Frameworks und eines CSS-Präprozessors überprüft.

Eine weitere große Fehlerquelle war die Installation von Erweiterungen mit oder ohne TypeScript, da abhängig von TypeScript weitere NPM-Pakete zu installieren waren, besonderer Code generiert werden musste oder ähnliches. Eine Ausnahme bilden hierbei jedoch die CSS-Präprozessoren. Daher wird mit ihrer Ausnahme jede Erweiterung sowohl mit, als auch ohne TypeScript überprüft.

Aus diesen Gründen werden insgesamt acht Konstellationen von Erweiterungen überprüft: Angular wird in Kombination mit jedem der vier CSS-Präprozessoren (hier wird die Abwesenheit eines CSS-Präprozessors auch als Präprozessor gezählt) und allen sonstigen Erweiterungen installiert. Da Angular von TypeScript abhängt, werden diese Konfigurationen nie ohne TypeScript überprüft. Außerdem wird React mit jedem CSS-Präprozessor außer Less und allen übrigen Erweiterungen überprüft. Dazu kommt lediglich eine Konfiguration ohne TypeScript, da die Anwesenheit von TypeScript keinen Einfluss auf CSS-Präprozessoren hat.

Durch das Durchführen dieser Tests sind mehrere Fehler aufgefallen, die vor allem in der Kombination von CSS-Präprozessoren mit React aufgetreten sind und die vollständig behoben werden konnten. Bei der weiteren manuelle Überprüfung der dabei erstellten Projekte sind keine weiteren Fehler aufgefallen. Abschließend sind also keine Fehler bei bisher implementierten Features bekannt.

5.3 Alternative Lösungswege

Für einige der Ansätze, die in dieser Arbeit beschrieben und umgesetzt wurden, sind nach der Umsetzung alternative Lösungswege aufgefallen. Aufgrund der zeitlichen Einschränkungen konnten diese nicht mehr umgesetzt werden, aber dennoch werden sie im folgenden erläutert und mit den bisherigen Ansätzen verglichen.

Der erste solche Fall ist der Umgang mit nicht-installierten Paketmanagern. In dem hier erläuterten Ansatz sind diese bei der Wahl des zu verwendenden Paketmanagers nicht auswählbar. Um Nutzende aber zumindest über die Existenz anderer Paketmanager zu informieren, werden diese dennoch angezeigt.

Da GWA ohne Node.js nicht ohne großen Mehraufwand ausführbar ist, ist davon aus-

[20] Außerdem ist Less nicht zusammen mit React verwendbar. Diese Kombination wird im späteren Verlauf einfach ausgelassen.

zugehen, dass NPM immer installiert ist. Yarn, der andere unterstützte Paketmanager, ist über NPM installierbar. Somit wäre es betriebssystemunabhängig möglich, beide Paketmanager anzubieten und Yarn ggf. nachzuinstallieren. Dieser Ansatz hätte mit einem ähnlichen Aufwand wie die Validierung bzw. die Deaktivierung der entsprechenden Option durchgeführt werden können. Aufgrund der späten Idee war dies aber im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr möglich.

Eine weitere alternative Herangehensweise war bei der Verwendung von inquirer Möglich. Inquirer muss aufgrund der asynchron gestellten Fragen asynchron aufgerufen bzw. verwendet werden. Dies ist einerseits über die Verwendung von in JavaScript integrierte Promises möglich. Andererseits kann dieselbe Asynchronität mit RxJS[21] erreicht werden.

RxJS ist eine Bibliothek, die im Kern das Observer-Pattern implementiert. Sie stellt Observables und Subjects zur Verfügung, zwischen denen der in diesem Zusammenhang signifikanteste Unterschied ist, dass an ein Subject neue Ereignisse weitergereicht werden können, was bei einem Observable nicht möglich ist. Das Subject implementiert jedoch das Observable.

Zu Beginn der Implementierung von GWA wurde aufgrund eines Missverständnisses inquirer zusammen mit RxJS verwendet. Dafür wurde zunächst ein Subject erzeugt, an das alle zu stellenden Fragen weitergeleitet wurden. Von Inquirer wurde dann ein Observable entgegengenommen, dem die Antworten der Fragen entnommen werden konnten.

Dieser Ansatz führte zu deutlichen Komplikationen. Neben dem in Kapitel 4.7.1 beschriebenen Problem mussten manuell alle Antworten ihren jeweiligen Fragen zugeordnet werden. Zudem mussten nach der Stellung von Fragen durch eine Erweiterung die zugehörigen Antworten weitergeleitet werden, ohne weitere Antworten weiterzuleiten. Dies wäre mit dem anderen Ansatz nicht nötig gewesen, da hier der Stellung jeder Frage automatisch die zugehörige Antwort zugeordnet werden konnte.

Nach der Lösung all dieser Probleme ist das Missverständnis aufgefallen. Aufgrund der beschriebenen Komplikationen und dieses Missverständnis ausreichend früh aufgefallen ist, konnte noch zu dem anderen Ansatz gewechselt werden. Dennoch hätte durch Ausprobieren beider Ansätze das Missverständnis früher aufgelöst und somit viel Komplikation vermieden werden können.

6 Ausblick

Wie bereits an einigen Stellen erwähnt wurde, gibt es viele Aspekte, auf die sich weitere Entwicklung konzentrieren könnte. In keiner besonderen Reihenfolge werden hier einige dieser Aspekte aufgelistet.

Da im Rahmen dieser Arbeit die Entwicklung von Erweiterungen lediglich exemplarisch erfolgt ist, wäre es sinnvoll, weitere Erweiterungen zu ergänzen. Insbesondere fehlt Unterstützung für Vue.js. Da das Vue-CLI jedoch große Ähnlichkeiten zum Angular-CLI aufweist, müssen für die Vue-Erwieterung keine neuen Konzepte erarbeitet werden.

[21] `https://github.com/reactivex/rxjs`

Des weiteren fehlen Erweiterungen für weitere Werkzeuge und Bibliotheken. Größtenteils sind auch hier keine neuen Konzepte erforderlich, sodass sich an bereits implementierten Erweiterungen orientiert werden kann. Ausnahme hiervon sind jedoch, wie bereits im vorigen Kapitel beschrieben, die Erweiterungen für Werkzeuge und Bibliotheken zum Schreiben von automatisierten Tests.

Hier könnte beispielsweise eine Abstraktion über gängige Werkzeuge und Bibliotheken entwickelt werden, sodass andere Erweiterungen an einer Stelle Tests definieren können, die mittels der Abstraktion nur auf gemeinsame Features aufbauen. Aus diesen abstrahierten Definitionen könnten dann für jede Testbibliothek entsprechende Dateien erzeugt werden.

Auch im Bereich der automatisierten Tests für GWA ist weitere Arbeit zu leisten. Die Aussagekraft der Ende-zu-Ende-Tests ist bisher nur gering, da lediglich die Baubarkeit (d.h. der Erfolg des `npm run build`-Befehls) bestimmter Konfigurationen überprüft wird. Durch eine Einbindung inhaltlicher Tests für alle verwendeten Erweiterungen könnte diese Aussagekraft vergrößert werden. Außerdem könnte untersucht werden, ob die Tests parallelisiert ablaufen können, um die aktuell bei ca. 20 Minuten liegende Laufzeit zu verkürzen. Da ein großer Teil dieser Laufzeit von der Installation der NPM-Pakete kommt, könnte ein weiterer Ansatz zur Laufzeitverbesserung auch das Zwischenspeichern dieser Pakete sein. Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit bietet die Erzeugung der Liste der zu überprüfenden Konfigurationen. Aktuell muss diese manuell gepflegt werden; es wäre jedoch sinnvoll, diese basierend auf der Menge aller verfügbaren Erweiterungen automatisch zu erzeugen. So müsste diese Liste nicht bei jedem Hinzufügen einer neuen Erweiterung oder bei jeder Modifikation der stellbaren Fragen modifiziert werden.

Im Rahmen der Erweiterungen besteht auch an allgemeinen Stellen Verbesserungsbedarf. Zum einen wäre es hilfreich, wenn Nutzenden nicht erst beim Versuch der Absendung einer Antwort auf eine Frage Feedback zur Validität der Antwort gegeben würde, sondern dies schon beim Ausfüllen der Antwort geschehen könnte. Zum anderen ist die manuelle Festlegung der Installationsreihenfolge der Erweiterungen suboptimal, da bei ihrer Erzeugung schwer zu findende Fehler unterlaufen können, die nur bei sehr bestimmten Kombinationen von Erweiterungen auftreten. Sinnvoller wäre hier eine automatische Generation basierend auf Restriktionen, die pro Erweiterung festgelegt werden können. Wie bereits erwähnt, müsste hierfür vorsichtig ein System von Restriktionen ausgearbeitet werden.

Die momentan sehr auf die Installation bestimmter Bibliotheken oder Werkzeuge konzentrierten Fragen könnten zukünftig um weitere Konfigurationsfragen erweitert werden. So wäre es möglich, beispielsweise ESLint von Anfang entsprechend Präferenzen des / der Nutzenden zu konfigurieren, sodass diese Konfiguration nicht noch nach der Installation vorgenommen werden muss.

Insbesondere, wenn derartig umfangreiche Konfigurationen getroffen werden können, aber auch schon im Rahmen der reinen Installation von Projekten wäre es für die wiederholte Nutzung von GWA hilfreich, wenn nach dem Beantworten aller Fragen die Antworten als „Preset“ gespeichert werden könnten, sodass bei späteren Aufrufen zuvor

erstellte Presets verwendet werden können. Dies würde die wiederholte Verwendung einer Lieblingskonfiguration erleichtern. Dabei sollte jedoch auch darauf geachtet werden, dass vor der Installation noch Anpassungen an das gewählte Preset vorgenommen werden können, sodass besondere Eigenheiten des zu erzeugenden Projektes berücksichtigt werden können.

Interessant wäre es jedoch auch, bei Presets die Möglichkeit zu lassen, dass bestimmte Voreinstellungen nicht veränderbar sind. So könnten beispielsweise Unternehmen Presets generieren, damit sämtliche daraus erzeugten Projekte einem unternehmensweit festgelegten Standard folgen.

Zukünftige Entwicklung könnte sich ebenso mit der weiteren Verallgemeinerung von GWA befassen. Eine mögliche Verallgemeinerung wäre die Entfernung der Notwendigkeit eines Frameworks. So könnten beispielsweise frameworklose Webprojekte oder auch Node.js-Projekte erzeugt werden. Außerdem lässt sich evaluieren, ob eine Erweiterung von GWA auf andere Programmiersprachen sinnvoll umsetzbar ist. Gerade im von konkreten Erweiterungen unabhängigen Teil des Codes müssten hierfür weitere Abstraktionen getroffen werden, aber erste Grundlagen für eine solche Entwicklung sind beispielsweise durch die Abstraktion des Paketmanagers bereits geschaffen worden.

Ebenso interessant wäre die Erweiterung von GWA um eine grafische Benutzeroberfläche. Diese könnte aus den inquirer-Fragen erzeugt werden und könnte die Einstiegshürde weiter erleichtern. Hierfür gibt es bereits entsprechende Projekte[22]; jedoch müsste untersucht werden, ob diese auch das nachträgliche Stellen von Fragen unterstützen.

7 Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein CLI namens „generate-web-app“ (GWA) entwickelt, das Programmierenden die initiale Einrichtung von Webprojekten abnimmt. Der Fokus sollte Anfängerfreundlichkeit und Interaktivität liegen.

Im Rahmen der Planung dieses CLIs wurden die Installationsvorgänge verschiedener Bibliotheken und Werkzeuge miteinander verglichen, sodass Gemeinsamkeiten und Unterschiede hervorgehoben werden konnten. Außerdem wurde analysiert, welche Möglichkeiten zur Projektinitialisierung bereits existieren. Diese wurden ebenfalls miteinander verglichen und insbesondere auf ihre Stärken und Schwächen hin untersucht.

Aus diesen Untersuchungen ergab sich der Plan, ein auf Erweiterungen basierendes System zu entwickeln, das zunächst allgemeine Fragen stellt und erfragt, welche Bibliotheken / Werkzeuge gewünscht sind. Zu dieser Auswahl werden dann weitere Fragen gestellt, bevor die Installation gemäß der angegebenen Wünsche erfolgt. Außerdem sollte eine Validierung der Antworten eingebaut werden.

Dieses System konnte wie geplant implementiert werden. Dabei wurden neben allgemeinen Techniken wie der asymptotischen Laufzeitanalyse Ansätze aus der funktionalen

[22] `https://github.com/SAP/inquirer-gui`

Programmierung und Konzepte aus der Graphentheorie verwendet. Die Implementierung erfolgte mehrheitlich testgetrieben in TypeScript.

Neben der Implementierung dieses Grundgerüstes wurden einige Erweiterungen entwickelt, um die Funktionalität des Grundgerüstes und die Fähigkeiten des Erweiterungssystems zu demonstrieren. Die bereits entwickelten Erweiterungen ermöglichen die Installation der beiden Frontend-Frameworks React und Angular, der beiden Werkzeuge TypeScript und ESLint, der CSS-Präprozessoren SCSS, Sass und Less, sowie der Bibliothek Redux.

Durch die bei der testgetriebenen Entwicklung entstandenen Unittests und weitere automatisierte Ende-zu-Ende-Tests konnte die Funktionalität der bereits implementierten Features kontinuierlich überprüft werden. In Kombination mit weiteren manuellen Tests konnten bei keinem der erstellbaren Projekte Fehler festgestellt werden.

Trotz der geringen Anzahl der bisher entwickelten Erweiterungen bietet GWA bereits eine Zeitersparnis bei der Installation von unterstützten Konfigurationsmöglichkeiten. Somit kann das Ziel dieser Arbeit als erreicht betrachtet werden, obgleich noch weitere Arbeit notwendig ist, um GWA zur Generierung mehr Projekte verwenden zu können.

Literatur

[1] Adi D., John W., Robert F. und Stephanie Y. Tslint in 2019, Feb. 2019. `https://blog.palantir.com/tslint-in-2019-1a144c2317a9` [Zugriff am 29. August 2021].

[2] K. Beck. *Test-driven development: by example*. Addison-Wesley Professional, 2003.

[3] J. Ehlers. Patterns und Frameworks für die Entwicklung paralleler und verteilter Anwendungen in Java. `https://oncampus.pages.th-luebeck.de/patterns-and-frameworks/patterns-and-frameworks.pdf` [Zugriff am 17. September 2021].

[4] K. Hinsen. The promises of functional programming. *Computing in Science & Engineering*, 11(4):86–90, 2009.

[5] L. M. Kerr. Github-issue: Jest schematic + cypress schematic conflicts. `https://github.com/briebug/jest-schematic/issues/51` [Zugriff am 30. August 2021].

[6] M. C. Benton und N. M. Radziwill. Improving testability and reuse by transitioning to functional programming. *arXiv preprint arXiv:1606.06704*, 2016.

[7] R. Mello. Prettier schematic - collection.json, Apr. 2021. `https://github.com/ricmello/prettier-schematics/blob/main/src/collection.json` [Zugriff am 28. August 2021].

[8] N. Murray, F. Coury, A. Lerner und C. Taborda. *ng-book - The Complete Book on Angular*. Fullstack.io, 2020.

[9] A. Nassri. So long, and thanks for all the packages! `https://blog.npmjs.org/post/615388323067854848/so-long-and-thanks-for-all-the-packages.html` [Zugriff am 14. September 2021].

[10] Open Source. DefinitelyTyped, . `https://github.com/DefinitelyTyped/DefinitelyTyped/` [Zugriff am 16. September 2021].

[11] Open Source. JSON - JavaScript | MDN, . `https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/JSON` [Zugriff am 16. September 2021].

[12] Open Source. Angular CLI - package.json, . `https://github.com/angular/angular-cli/blob/master/package.json#L162` [Zugriff am 06. September 2021].

[13] Open Source. Angular eslint, . `https://github.com/angular-eslint/angular-eslint/` [Zugriff am 28. August 2021].

[14] Open Source. Getting started - selecting a package manager, . https://create-react-app.dev/docs/getting-started/#selecting-a-package-manager [Zugriff am 31. August 2021].

[15] Open Source. Inquirer.js - package.json., . https://github.com/SBoudrias/Inquirer.js/blob/master/packages/inquirer/package.json [Zugriff am 16. September 2021].

[16] Open Source. Inquirer.js - index.js, . https://github.com/SBoudrias/Inquirer.js/blob/master/packages/core/index.js#L6 [Zugriff am 06. September 2021].

[17] Open Source. Mapscii - the whole world in your console., . https://github.com/rastapasta/mapscii [Zugriff am 15. September 2021].

[18] Open Source. Setting up your editor | create react app, . https://create-react-app.dev/docs/setting-up-your-editor/#extending-or-replacing-the-default-eslint-config [Zugriff am 17. September 2021].

[19] Open Source. Introducing jsx, . https://reactjs.org/docs/introducing-jsx.html [Zugriff am 17. September 2021].

[20] Open Source. Tslint, . https://github.com/palantir/tslint [Zugriff am 29. August 2021].

[21] Open Source. Vue CLI - package.json, . https://github.com/vuejs/vue-cli/blob/dev/package.json#L59 [Zugriff am 06. September 2021].

[22] Open Source. State management - information for react developers, . https://vuejs.org/v2/guide/state-management.html#Information-for-React-Developers [Zugriff am 30. August 2021].

[23] Open Source. Spawning .bat and .cmd files on windows, . https://nodejs.org/dist/latest-v6.x/docs/api/child_process.html#child_process_spawning_bat_and_cmd_files_on_windows [Zugriff am 10. September 2021].

[24] S. Greif und R. Benitte. State of JS 2020, 2020. https://2020.stateofjs.com/en-US/ [Zugriff am 28. August 2021].

[25] S. Vlaeva und K. Kisiela. Apollo angular - collection.json, Aug. 2018. https://github.com/kamilkisiela/apollo-angular/blob/master/packages/apollo-angular/schematics/collection.json [Zugriff am 28. August 2021].

[26] Stack Overflow. Stack overflow developer survey 2021, 2021. `https://insights.stackoverflow.com/survey/2021#most-popular-technologies-tools-tech-prof` [Zugriff am 17. September 2021].

[27] T. Fellmann und M. Kavakli. A command line interface versus a graphical user interface in coding vr systems. In *Proceedings of the Second IASTED International Conference on Human Computer Interaction. ACTA Press*, 2007.

[28] P. Verma. Gracoli: a graphical command line user interface. In *CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pages 3143–3146. 2013.

[29] S. Warshall. A theorem on boolean matrices. *Journal of the ACM (JACM)*, 9(1): 11–12, 1962. ISSN 0004-5411. doi: 10.1145/321105.321107.