

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
Institut für Informatik
Fachgebiet Praktische Informatik/Softwaresystemtechnik

Masterarbeit



Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus - Senftenberg

Testdesign Automatisierung von GraphQL mittels graphspezifischen Domänenwissen

Testdesign Automation for GraphQL using graphspecific domain knowledge

Tom Lorenz

MatrikelNr.: 3711679

Studiengang: Informatik M.Sc

Datum der Themenausgabe: (hier einfügen)

Datum der Abgabe: (hier einfügen)

1. Betreuer: Prof. Dr. rer. nat. Leen Lambers
2. Betreuer: M.Sc Lucas Sakizoglou

Eidesstattliche Erklärung

Der Verfasser erklärt, dass er die vorliegende Arbeit selbständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt hat. Die aus fremden Quellen (einschließlich elektronischer Quellen) direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind ausnahmslos als solche kenntlich gemacht. Wörtlich und inhaltlich verwendete Quellen wurden entsprechend den anerkannten Regeln wissenschaftlichen Arbeitens zitiert. Die Arbeit ist nicht in gleicher oder vergleichbarer Form (auch nicht auszugsweise) im Rahmen einer anderen Prüfung bei einer anderen Hochschule vorgelegt oder publiziert worden. Der Verfasser erklärt sich zudem damit einverstanden, dass die Arbeit mit Hilfe eines Plagiatserkennungsdienstes auf enthaltene Plagiate überprüft wird.

.....
Ort, Datum

.....
Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	1
2	Einleitung	2
2.1	Motivation	2
2.1.1	Testgenerierung	3
2.1.2	Testauswertung	3
2.2	Umsetzung	3
3	Grundlagen / Theorie	5
3.1	Graphentheorie	6
3.1.1	allgemeiner Graph	6
3.1.2	Gerichtetheit von Kanten	6
3.1.3	Wege und Kreise	6
3.1.4	Erreichbarkeit	6
3.1.5	Zusammenhang von Graphen	6
3.2	GraphQL	7
3.2.1	Schema Typen	7
3.3	Zusammenhang Graphentheorie und GraphQL	8
3.4	Testen	11
3.4.1	Arten von Tests	11
3.4.2	Test-Coverage	11
3.4.3	Test-Coverage Graphen	11
3.4.4	Prime-Path Coverage Algorithmus	11
4	related Work / ähnliche Arbeiten	12
4.1	EvoMaster	12
4.2	Deviation Testing	13
5	Praxis	14
5.1	Toolchain	14
5.2	Requirements an das Tool	14
5.3	Glossar	15
	Literaturverzeichnis	16

1 Abstract

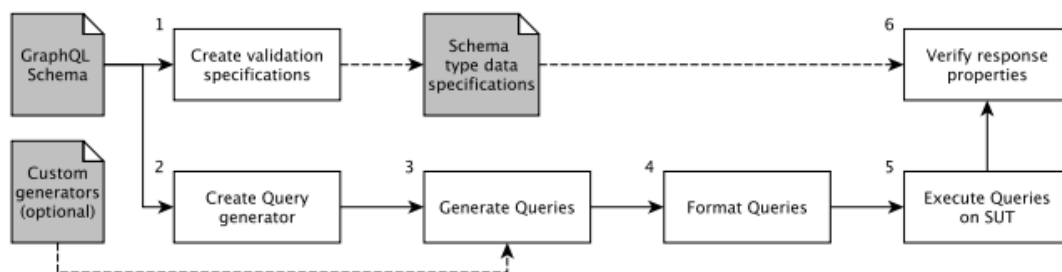
Mit zunehmender Popularität von GraphQL ist es wichtig auch die Qualität von GraphQL-API's zu testen. Aktuell gibt es aber noch eine Lücke an Testtools für GraphQL-Apis. Im Paper "Automatic Property-based Testing of GraphQL APIs" (Quelle hinzufügen) wurde sich mit einem automatischen Testverfahren für GraphQL-API's beschäftigt. Allerdings bietet diese Arbeit ein Verbesserungspotential, welches in dieser Arbeit untersucht und implementiert werden soll. Im konkreten handelt es sich bei dem automatischen Testverfahren um ein Verfahren, dass ein GraphQL-Schema aufgrund seiner Eigenschaften aufspaltet und Testet. Hierbei wird zwar Rücksicht auf die Graphstruktur genommen allerdings werden spezifische Grapheigenschaften nicht ausgenutzt um die Tests zu verbessern. Ziel dieser Arbeit ist es, das Domänenwissen für Graphen zu nutzen um eine automatische Testgenerierung zu verbessern und algorithmisch beweisbar eine ideale Abdeckung mit Tests zu erreichen.

2 Einleitung

In diesem Kapitel wird an das Thema und die Motivation dieser Arbeit herangeführt. Außerdem wird definiert, welche Ziele diese Arbeit erreichen soll und eine grobe Übersicht über die Kapitelstruktur gegeben.

2.1 Motivation

Mit einer steigenden Nutzung von GraphQL wird es immer wichtiger, geeignete Tests für GraphQL-API's zu entwickeln damit eine gute Softwarequalität sichergestellt werden kann. Idealerweise können diese Testtools solche API's automatisch testen, so wie es für REST-API's schon umgesetzt wurde. Die Struktur von GraphQL erlaubt allerdings zyklische Strukturen und ermöglicht somit ein potenziell unendlich großen Testraum. In einem Paper "Automatic Property-based Testing of GraphQL-API's" (hier Quelle) wurde versucht ein solches automatisches Testtool schon umzusetzen. Allerdings hat dieses Paper zwei große Verbesserungspunkte. Einerseits die Art, wie die Tests generiert werden, andererseits die Auswertung der Tests. Der allgemeine Ablauf des bestehenden Tools ist wie folgt:



Verbesserungen in dieser Arbeit sind insbesondere in den Punkten 2,3 und 6 geplant.

Create Query Generator (Punkt 2) Kapitel Testgenerierung

Generate Queries (Punkt 3) Kapitel Testgenerierung

Verify response properties (Punkt 6) Kapitel Testauswertung

2.1.1 Testgenerierung

Bei der Testgenerierung wurde mit den zyklischen Strukturen in GraphQL Schemas so umgegangen, dass eine Rekursionstiefe definiert wurde, damit man das Problem des unendlichen Testraumes beheben kann. Dieser Ansatz erlaubt es aber leider nicht, dass eine ideale Abdeckung (was das ist wird später genau definiert) gewährleistet werden kann. Insbesondere komplexere, zyklische Strukturen werden hierbei von dem automatischen Tool nicht getestet da die Rekursionstiefe dies oft nicht erlaubt. Mit der Nutzung von graphspezifischen Algorithmen ist es jedoch möglich Graphabdeckungen zu ermitteln auch wenn diese eine zyklische Struktur haben und somit kann algorithmisch das Problem des Papers gelöst werden. In dieser Arbeit sollen diese graphspezifischen Algorithmen implementiert werden und dann mittels Datengeneratoren eigenständig Tests erzeugen.

2.1.2 Testauswertung

Die Auswertung der Tests ist im Paper darauf basierend, dass die zu testende API vor allem auch funktionale Korrektheit überprüft wird, dies bedeutet insbesondere, dass hier die HTTP-Status Codes von Anfragen ausgewertet werden sowie GraphQL eigene Statusmeldungen untersucht werden. Ein richtiger Abgleich im Test findet nicht statt, es wird lediglich überprüft ob der Rückgabe-Datentyp dem erwarteten Datentyp entspricht. Es wäre jedoch besser wenn nicht nur der Rückgabe-Datentyp stimmt sondern auch der Inhalt in diesem Datentyp. In dieser Arbeit soll das Programm mittels eines Orakels verbessert werden. Dies bedeutet, dass die GraphQL API mit Testdaten befüllt wird und Anfragen gestellt werden können, die sich dann auch logisch ineinander auflösen. Hierbei ist insbesondere zu beachten, dass Kreisstrukturen sich in gewisser Weise in sich selbst auflösen, d.h. Eingabeobjekt = Ausgabeobjekt.

2.2 Umsetzung

Zuallererst wird in dieser Arbeit etwas Theorie definiert und in Bezug gesetzt. Angefangen mit einer allgemeinen Definition eines Graphens im mathematischen Sinne und GraphQL als Schnittstelle, wird dann ein Bezug dieser beiden Themen zueinander hergestellt. Wenn der Bezug von Graphentheorie und GraphQL klar ist, wird der eigentliche Algorithmus für die ideale Abdeckung des Graphens algorithmisch erklärt, eine Anwendung auf GraphQL in der Theorie gezeigt und bewiesen. Danach werden die theoretischen Erkenntnisse in einem praktischen Projekt umgesetzt. Hierbei wird ein Tool erstellt, welches auf Grundlage des Überdeckungsalgorithmus einem Datengenerator Tests erstellt und dann ausgewertet mittels den alten bzw. erweiterten Abgleichsmethoden. Um zu zeigen, dass das neue Verfahren eine Verbesserung darstellt wird dann ein Benchmark Test zwischen altem und neuem System erstellt. Bei diesem Benchmark Test werden 3 verschiedene GraphQL-Schemas getestet, 2 Schemas aus dem alten Paper, hier ergibt sich ein direkter Vergleich an z.B. generierten Tests und Graphabdeckung. Im 3ten Schema wird ein speziell sehr zyklisches Schema ausgewertet um zu zeigen, dass einerseits

die Implementierung den Algorithmus korrekt umsetzt und wie groß die Verbesserung in solchen Schemas dann sind.

3 Grundlagen / Theorie

Das automatisierte Testen von GraphQL-API's erfordert ein spezifisches Domänenwissen in verschiedenen Teilbereichen der Informatik und Mathematik. Dieses Domänenwissen wird in den folgenden Abschnitten auf Grundlage zweier Lehrbücher erarbeitet und in Kontext gesetzt. Wissen über die Graphentheorie wird benötigt, da GraphQL eine Implementierung von graphenähnlichen Strukturen ist und wir somit Algorithmen darauf anwenden können. Die mathematische Formalisierung hilft hierbei dann insbesondere bei der Beweisführung für eine allgemeine Termination der zu entwickelnden Algorithmen. Desweiteren ist es nötig sich bewusst zu machen, welche Arten des Testens von Software es gibt und warum wir bestimmte Methoden hier eher nutzen als andere. Im konkreten ist das Theorie-Kapitel so strukturiert, dass erst einmal die mathematischen Grundlagen der Graphentheorie vermittelt werden und im Anschluss dazu wird eine Beziehung zwischen GraphQL Graphentheorie hergestellt. Mit der Beziehung können wir dann zeigen, dass Graphalgorithmen auch bei GraphQL anwendbar sind. Mit diesen Grundlagen können wir dann zeigen, dass verschiedene Überdeckungsalgorithmen zur idealen Testgestaltung genutzt werden können wobei hier natürlich definiert werden muss, was überhaupt eine Testüberdeckung ist und wann diese idealist.

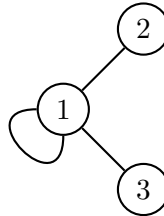
3.1 Graphentheorie

Ein grundlegendes, strukturelles Verständniss von Graphen ist wichtig für diese Arbeit, da diese mathematische Struktur die Grundlage der gesamten Arbeit bildet. In diesem Kapitel werden viele Definitionen mithilfe eines mathematischen Lehrbuchs erarbeitet. Es wird später ersichtlich werden wozu diese Definitionen wichtig sind auch wenn diese jetzt noch sehr abstrakt erscheinen.

3.1.1 allgemeiner Graph

Ein Graph ist ein Paar $G = (V, E)$ zweier disjunkter Mengen (vgl. Graphlehrbuch) mit $E \subseteq V^2$ (vgl. Graphlehrbuch)

Elemente von V nennt man Knoten eines Graphens, die Elemente von E nennt man Kanten, Knoten die in einem Tupel von E vorkommen nennt man auch inzident (benachbart). Ein Graph könnte man nun definieren indem wir z.B. für $V = 1, 2, 3$ wählen und für $E = (1, 1), (1, 2), (1, 3)$. Dargestellt werden können Graphen indem man die Elemente von V als z.B. Kreis zeichnet und dann alle Kanten aus E einzeichnet indem man die Punkte verbindet. Eben definierter Graph hat z.B. folgende Darstellung:



Mit dieser Definition lassen sich nun beliebig große Graphen erstellen. Einige Eigenschaften von Graphen müssen nun noch genau definiert werden da diese später relevant sein werden. Zu definieren sind Wege und Kreise, gerichtetheit von Kanten und Zusammenhang von Graphen

3.1.2 Gerichtetheit von Kanten

Die vorher getroffene Definition eines Graphens ist im Allgemeinen die Definition eines ungerichteten Graphens. In einem ungerichteten Graphen bedeutet die Notation $E = (1,2)$ das ein Weg von Knoten 1 zu 2 und von 2 zu 1 existiert. Es muss in diesem Fall nur eine Kante angegeben werden und trotzdem existieren Wege für beide Knoten. Im Kontext eines gerichteten Graphens existiert dann bei einer Kante $E = (1,2)$ nur ein Weg von Knoten 1 zu 2. Graphisch wird dies in einem Graphen deutlich indem man diesen mit Pfeilen zeichnet. Hierbei zeigt der Pfeil auf das Ziel der Kante. (vgl. Graphlehrbuch)

3.1.3 Wege und Kreise

3.1.4 Erreichbarkeit

3.1.5 Zusammenhang von Graphen

3.2 GraphQL

GraphQL ist eine Open-Source Query-Language (Abfragesprache) entwickelt von Facebook. (vgl. GraphQL-Spec) Ziel dieser Sprache ist es einen möglichst intuitiven und flexiblen Ansatz für Datenkommunikation zu bieten. Hierbei ist GraphQL für die Strukturierung und Anfragesteuerung zuständig. GraphQL selbst ist keine Programmiersprache sondern verteilt die Anfragen entsprechend der definierten Spezifikation in GraphQL. Wie man GraphQL spezifiziert und was „Unter der Haube“ dabei passiert wird im folgendem erklärt. Da GraphQL ein äußerst detaillierter Standard ist, werden hier nur grundlegende Konzepte betrachtet die für die Arbeit wichtig sind, insbesondere wichtige Aspekte für die Testgenerierung.

3.2.1 Schema Typen

Um eine API mit GraphQL zu entwickeln muss imm

3.3 Zusammenhang Graphentheorie und GraphQL

GraphQL erlaubt es uns, Typen zu definieren. Ein Type beinhaltet immer mindestens eine Property. Ein Type kann mit einem Knoten eines Graphens gleichgesetzt werden. Man nehme zum Beispiel ein Buch und definiere hierfür einen Type

```
type Book {  
  id: Int  
  title: String  
}
```

Es existiert jetzt ein Objekt Book mit den Eigenschaften id als Integer und title als String. Repräsentiert als Graphen hätten wir jetzt folgende Struktur

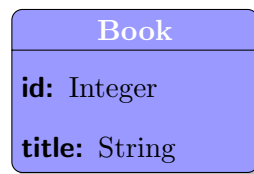
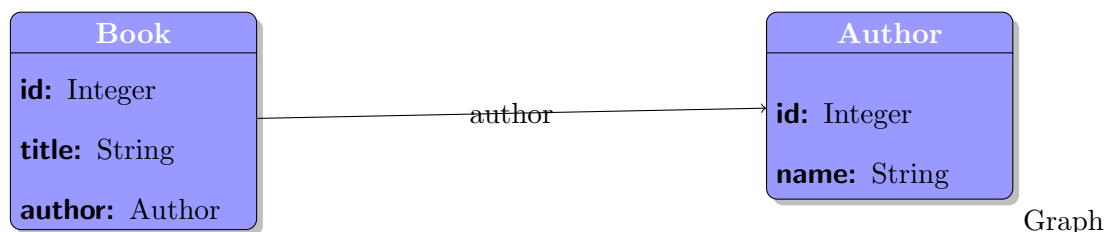


Abbildung 3.1: Graph mit 1 Type

Eine Property kann entweder ein Standarddatentyp sein oder auf einen Type verweisen, dies kann der eigene Type oder auch ein anderer Type sein. Fügen wir unserem Beispiel des Buches eine Property hinzu mit dem Type Author wobei der Author selbst wie folgt definiert wird:

```
type Book {  
  id: Int  
  title: String  
  author: Author  
}  
  
type Author {  
  id: Int  
  name: String  
}
```

So haben wir einen Graphen definiert, indem jedem Buch noch ein Author hinzugefügt wird. Hierdurch ergibt sich folgender Graph



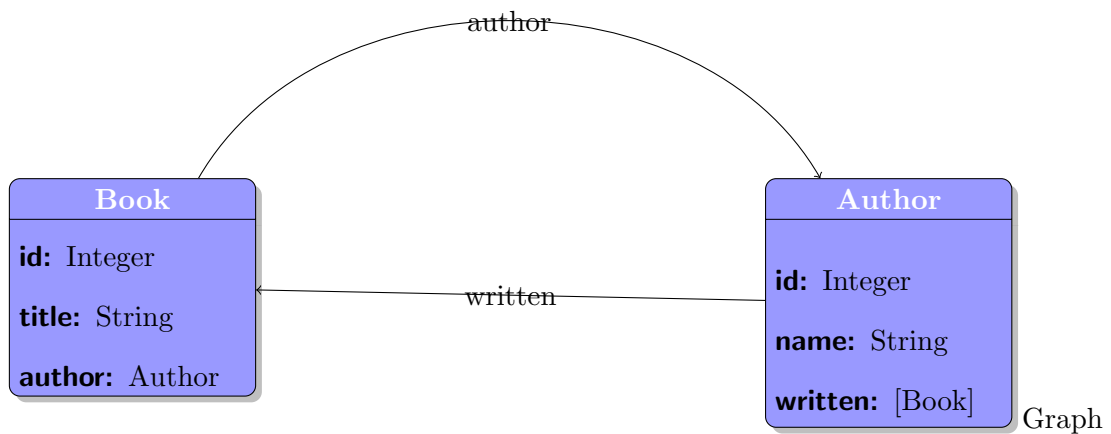
Graph

mit 2 Types

Stand jetzt, sind noch keine zirkulären Abfragen möglich. Bauen wir nun ein zirkuläres Verhalten ein indem wir dem Type Author noch die Property "written"(also alle seine geschriebenen Bücher) hinzufügen

```
type Book {  
  id: Int  
  title: String  
  author: Author  
}  
type Author {  
  id: Int  
  name: String  
  written: [Books!]  
}
```

so ergibt sich, dass wir einen zirkulären Graphen haben mit folgender Struktur



mit 2 Types

Jetzt ist es möglich, zirkuläre Abfragen in folgender Form zu stellen:

```
{  
  book{  
    author{  
      book{  
        author{  
          name  
        }  
      }  
    }  
  }  
}
```

```
    }  
  }
```

oder auch

```
{  
  book{  
    author{  
      name  
    }  
  }  
}
```

vorrausgesetzt der abzufragende Author hat nur ein Buch geschrieben. Auf Grundlage dieser hier definierten Bildungsstrukturen können dann Graphen beliebiger Größe definiert werden.

3.4 Testen

(Hier Leen nach Buchempfehlungen fragen)

Indem technische Geräte und somit auch Software im umfangreichen Maßstab Einzug nehmen in nahezu alle Bereiche des Lebens ist es wichtig die Sicherheit, Qualität und Zuverlässigkeit von Software sicherzustellen. Um all dies sicherzustellen sind strukturelle Tests von Software nötig um einen Beweis zu haben, dass die Software das tut was vorgegeben ist.

3.4.1 Arten von Tests

Acceptance Testing

System Testing

Integration Testing

Module Testing

Unit Testing

3.4.2 Test-Coverage

3.4.3 Test-Coverage Graphen

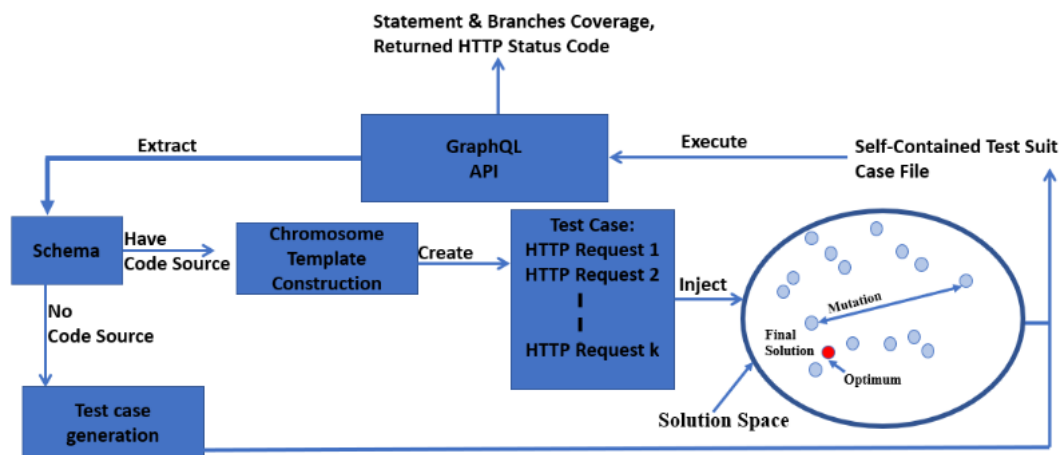
3.4.4 Prime-Path Coverage Algorithmus

4 related Work / ähnliche Arbeiten

Da Software-Testing ein stetig wachsendes Thema ist und der allgemeine Konsens man kann nicht genug testen existiert es klar, dass diverse Arbeiten in Richtung Testautomatisierung erstellt wurden. In diesem Abschnitt sollen ähnliche Arbeiten genannt werden sowie Unterschiede zu diesen Arbeiten benannt werden.

4.1 EvoMaster

EvoMaster ist ein Open-Source Tool welches sich automatisiertes Testen von Rest-APIs und GraphQL APIs zur Aufgabe gemacht hat. Aktuell kann durch EvoMaster sowohl WhiteBox Testing als auch BlackBox Testing durchgeführt werden jedoch ist ein White-box Test mittels Vanilla-EvoMaster nur für Rest-APIs möglich die mit der JVM lauffähig sind. Im Paper "White-Box and Black-Box Fuzzing for GraphQL APIs" (Quelle hier) wurde ein System on-Top für EvoMaster erstellt welches GraphQL Tests generieren kann. Hierbei soll sowohl WhiteBox als auch BlackBox Testing möglich sein. Das erstellte Framework in diesem Paper arbeitet nach folgendem Prinzip:



WhiteBox Testing ist möglich insofern Zugang zum GraphQL-Schema und zum Source Code der API gegeben ist. Andernfalls ist nur BlackBox Testing möglich. Zur Testgenerierung wird ein genetischer Algorithmus genutzt welcher die Tests generiert. Wie dieser genetische Algorithmus genau funktioniert kann im Paper selbst nachgelesen werden (hier Quelle). Im Vergleich mit unserer geplanten Arbeit mittels des Prime-Path-Algorithmus ergeben sich einige Unterschiede, diese sind unter anderem: Nutzung eines

evolutionären Algorithmus Many-Independent-Objective (MIO). Im Paper selbst wird davon ausgegangen, dass andere evolutionäre Algorithmen unter Umständen passender wären als der MIO Algorithmus für die Testgenerierung. Jedoch ist ein evolutionärer Algorithmus auch immer ein stochastisch, heuristisch sich dem Optimum annähernder Algorithmus. (Beleg hierfür) Im Gegensatz dazu ist der Ansatz dieser Arbeit ein natürlicher Algorithmus der beweisbar ideale Lösungen auf direkte Art bietet und im ersten Durchlauf direkt sein ideales Ergebnis ermittelt. Die ideale Lösung bezieht sich hierbei auf bestimmte Code-Coverage Kriterien die durch unseren Algorithmus erfüllt werden. Inwiefern der evolutionäre Algorithmus diese Kriterien erfüllt bleibt offen, es ist jedoch davon auszugehen, dass er sich einer idealen Lösung dieser Kriterien nur annähert da er eben ein stochastischer Algorithmus ist. (beleg oder Quelle)

4.2 Deviation Testing

Da GraphQL dynamisch auf Anfragen reagiert und es somit möglich ist, in seiner Anfrage einzelne Felder mit einzubeziehen oder auch auszuschließen ist dies im Grunde genommen ein einzelner Test-Case. Im Paper "Deviation Testing: A Test Case Generation Technique for GraphQL APIs" wird diese Gegebenheit benutzt und aus einer selbstdefinierten Query werden hier einzelne Test-Cases gebildet. Ein solcher Test macht je nach Implementierung der GraphQL-Resolver durchaus Sinn, da im Backend Felder durchaus zusammenhängen können und es Bugs geben kann wenn Resolver fehlerhaft definiert sind. z.B. könnte folgende Definition zu solchen Fehlern führen:

(hier BSP mit Code einfügen)

Da Deviation Testing jedoch nur bestehende Tests erweitert um mögliche Felder mitzutesten werden hier keine neuen Tests generiert. Durch Deviation Testing werden bestehende Tests nur erweitert allerdings muss eine Edge-Coverage gegeben sein damit diese Arbeit ein zufriedenstellendes Ergebnis erzeugt. Eine Edge-Coverage in einem komplexen Graphen ist allerdings sehr wahrscheinlich schwer umsetzbar mit manuellem Test schreiben. Eine Paarung von Edge-Coverage mit Deviation-Testing wäre sicherlich Interessant. Genau so wäre es interessant Deviation Testing als Teil unserer Arbeit zu nutzen indem mit diesem Tool die Tests erweitert werden. (initialer Plan war es, einfach immer alle Felder eines Nodes zu testen, hierdurch wäre es möglich auch alle Varianten noch zu testem)

5 Praxis

Im folgenden wird die praktische Umsetzung der vorher erarbeiteten Theorie behandelt. Hierzu wurde/wird ein Tool geschrieben, das aufgrund eines GraphQL-Schemas automatisiert Tests erzeugt. Diese Tests werden dann ausgeführt und ausgewertet mit den entsprechenden Verbesserungen.

5.1 Toolchain

Da GraphQL ein Standard für diverse Sprachen ist und das mocken von Daten essentiell zum testen ist, kann der Teil der Testgenerierung und Auswertung nur sprachspezifisch stattfinden. Es können somit nicht alle Sprachen berücksichtigt werden. Da GraphQL vor allem in der Webentwicklung verwendet wird, bezieht sich das Testtool auf JavaScript/TypeScript mit der Testbibliothek Jest. Als Server für die Verarbeitung wird ApolloServer genutzt, es ist jedoch denkbar, dass man jeden Server einsetzen kann insofern dieser eine `executeOperation()` implementiert die einen String als Query akzeptiert. Um Daten zu generieren wird auf das Tool `Factory.ts` zurückgegriffen (kann sich noch ändern), dieses ermöglicht es Baupläne anzulegen und dann beliebig viele Objekte zu erschaffen. Die benötigte Toolchain ist also sehr klein, sie benötigt nur `Factory.ts` für die Datengenerierung, Jest für die Ausführung der generierten Tests und ApolloServer für die Ausführung der GraphQL-Resolver.

5.2 Requirements an das Tool

5.3 Glossar

Im Text werden einige Fachbegriffe genutzt. Hier findet sich deren Erklärung

Begriff Erklärung

GraphQL Waren-Management-System; Ein System das das Lager verwaltet und die kompletten Betriebsprozesse eines Lagers abbilden kann

API

Evolutionärer Algorithmus

Onlinere Ressourcen wurden im Juli 2021 auf ihre Verfügbarkeit hin überprüft.