



TU Clausthal

EINSATZ EINER GRAPHDATENBANK FÜR ANALYSEN UND SUCHFUNKTIONEN VON SAMMELKARTEN ANHAND VON MAGIC: THE GATHERING

BACHELOR THESIS

vorgelegt von

PASCAL KLEINDIENST

Abteilung für Databases and Information Systems
Institut für Informatik
Technische Universität Clausthal

ES-Mooo

Pascal Kleindienst: *Einsatz einer Graphdatenbank für Analysen und Suchfunktionen von Sammelkarten anhand von Magic: the Gathering*

MATRIKELNUMMER

402592

GUTACHTER

Erstgutachter: Prof. Dr. Sven Hartmann

Zweitgutachter: Prof. Dr. Zweitgutachter

TAG DER EINREICHUNG

30. März 2016

EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommen wurden, wurden als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsstelle im Sinne von §11 Absatz 5 lit. b) der Allgemeinen Prüfungsordnung vorgelegen.

Hiermit erkläre ich mich zudem damit einverstanden, dass meine Bachelor Thesis in der Instituts- und/oder der Universitätsbibliothek ausgelegt und zur Einsichtnahme aufbewahrt werden darf.

Clausthal-Zellerfeld, den 30. März 2016

Pascal Kleindienst

ABSTRACT

Short summary of the contents in English. . .

A great guide by Kent Beck how to write good abstracts can be found at:

<https://plg.uwaterloo.ca/~migod/research/beck00PSLA.html>

It is particularly important to only use the language that has been specified in its surrounding otherlanguage block to cater to proper hyphenation.

ZUSAMMENFASSUNG

Hier eine kurze Zusammenfassung des Inhaltes in deutscher Sprache. . . Sollten Sie die Thesis auf Englisch schreiben, ist dennoch eine deutsche Zusammenfassung notwendig. Im umgekehrten Fall kann die englische Zusammenfassung durch Auskommentieren weggelassen werden.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	GRUNDLAGEN	3
2.1	Aufbau einer Karte	3
2.1.1	Bestandteile einer Karte	3
2.1.2	Kartentypen und Fähigkeiten	4
2.2	Aufbau eines Decks	5
2.2.1	Deck-Typen	5
2.3	Turniere	6
2.3.1	Match-Up	7
2.4	Graph-Datenbanken	7
2.4.1	Stärken von Graph-Datenbanken	7
3	METHODE	9
3.1	Analyse der Anforderungen	9
3.1.1	Kartensuche	9
3.1.2	Deckbau	9
3.1.3	Turniere	9
3.2	Potentielle Ansätze und Probleme	10
3.2.1	Relationale Datenbanken	10
3.2.2	NoSQL Datenbanken	10
3.3	Software-Design	11
3.3.1	Daten-Schemata	11
3.3.2	Beschreibung der Software-Komponenten	14
3.3.3	Beschreibung der Schnittstellen	15
3.4	Implementierung	15
3.4.1	Klassendiagramme	15
3.4.2	Schnittstellenrealisierung	26
3.5	Ausgewählter Ansatz und Detaillösungen	29
3.5.1	Datenbasis	29
3.5.2	Datenbanken	29
3.5.3	Programmiersprache	30
4	ERGEBNISSE	31
4.1	Validierung des Gesamtkonzeptes	31
4.2	Beschreibung und Motivation der Testfälle	31
4.2.1	Testfall 1: Schlüsselwort-Fähigkeit	31
4.2.2	Testfall 2: Textsuche	31
4.2.3	Testfall 3: Verknüpfungen	32
4.2.4	Testfall 4: Matchup Analyse	32
4.3	Übersicht und Bewertung der erzielten Ergebnisse	32
4.3.1	Laufzeit	32

4.3.2 Skalierbarkeit	33
LITERATURVERZEICHNIS	37

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.1	Bestandteile einer Karten	4
Abbildung 2.2	Einfacher Graph [2]	7
Abbildung 3.1	Schema für relationale Datenbank	12
Abbildung 3.2	Schema für Graph-Datenbank	13
Abbildung 3.3	Software-Komponenten	14
Abbildung 3.4	Klassendiagramm Builder.Builder	15
Abbildung 3.5	Klassendiagramm Builder.Cards	17
Abbildung 3.6	Klassendiagramm Builder.CSVHandler	18
Abbildung 3.7	Klassendiagramm Builder.Tournaments	18
Abbildung 3.8	Klassendiagramm Builder.Handlers.MySQLBuilder . .	19
Abbildung 3.9	Klassendiagramm Builder.Handlers.Neo4jBuilder . .	20
Abbildung 3.10	Klassendiagramm Foundation.Config	21
Abbildung 3.11	Klassendiagramm Foundation.Database	21
Abbildung 3.12	Klassendiagramm Foundation.Profiler	22
Abbildung 3.13	Klassendiagramm Transformations.Cards	22
Abbildung 3.14	Klassendiagramm Tests.AbstractTestCase	24
Abbildung 3.15	Klassendiagramm Tests.Manager	25
Abbildung 3.16	Sequenzdiagramm Fetch	27
Abbildung 3.17	Sequenzdiagramm build	28
Abbildung 4.1	Ausführungszeit der einzelnen Testfälle	33
Abbildung 4.2	Skalierung Testfall 1	34
Abbildung 4.3	Skalierung Testfall 2	35
Abbildung 4.4	Skalierung Testfall 3	35
Abbildung 4.5	Skalierung Testfall 4	36

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

UML	Unified Modeling Language
ER-Modell	Entity-Relationship-Modell
OOP	objektorientierte Programmierung
RDBMS	relationales Datenbankmanagementsystem
MtG	Magic: the Gathering
TCG	Trading Card Game
CRUD	Create Read Update Delete

NoSQL Not Only SQL

JSON JavaScript Object Notation

CSV Comma-separated values

JIT Just-in-time

EINLEITUNG

Sammelkartenspiele auch Trading Card Game (TCG) genannt sind Spiele bei denen es meist mehrere hunderte Karten verschiedener Seltenheitsstufen gibt. Man kann sich aus den Karten eine Auswahl zusammenstellen und mit anderen Spielern gegeneinander spielen. Einige der bekanntesten Vertreter von Sammelkartenspielen sind etwa *Magic: the Gathering*, *Pokemon*, *Yu-Gi-Oh!* und *Hearthstone: Heroes of Warcraft*.

Die Anzahl an Karten eines TCG wie Magic: the Gathering steigt von Jahr zu Jahr an. Bei Magic: the Gathering erscheinen pro Jahr zwei bis vier neue Sets mit durchschnittlich zwischen 200 bis 400 Karten. Die Menge der Karten nimmt also jedes Jahr beständig zu (*aktuell gibt es >15.000 verschiedene Karten und insgesamt >25.000 Karten verschiedener Versionen*)¹. Mit <http://mtgjson.com> gibt es einen open-source Datensatz aller Kartendaten, welcher unter anderem auch in [6, 15] benutzt wird, so dass dieser auch hier zum Einsatz kommen soll.

Online-Shops benötigen oft nur einen Bruchteil der Informationen, die sich auf einer Karte befinden und speichern diese tabellarisch, d.h. in einer relationalen Datenbank [10]. Gerade für kleinere Online-Shops eignet sich dieser Ansatz, da hierbei der Wartungsaufwand gering gehalten wird [10]. Karten-Suchmaschinen erfordern aber hoch strukturierte Daten, da alle Informationen einer Karte effizient gespeichert, verwaltet und Suchanfragen in Echtzeit beantwortet werden müssen.

Ein weiteres Einsatzgebiet ist das verwalten und analysieren von Decks und Turnieren. Turniere werden nach dem Schweizer-System, einer Sonderform des Rundenturniers, gespielt, wodurch sich ein Netzwerk aus Paarungen der verschiedenen Runden ergibt. Aus diesem Grund werden Ergebnisse von Turnieren oftmals der Einfachheit halber nur als Rangfolge gespeichert und nicht jedes Rundenergebnis. Mit letzterem Ansatz ließen sich verschiedene Analysen über die Decks und Spieler, wie zum Beispiel Matchups, das heißt welche Gewinn- oder Verlustchancen ein Deck gegen ein anderes Deck hat, erstellen.

¹ Basierend auf <http://mtgjson.com>

GRUNDLAGEN

Magic: the Gathering (**MtG**) ist ein strategisches **TCG**, bei dem zwei oder mehr Spieler mit einem individuellen Deck von Magic-Karten gegeneinander spielen. Im Laufe des Spiels werden verschiedene Karten, wie Länder, Kreaturen, Hexereien und andere Zauber eingesetzt, um das Spiel zu gewinnen. [13]

2.1 AUFBAU EINER KARTE

Die einfachste Möglichkeit Karten zu gruppieren ist anhand ihrer Farbe. Es gibt 5 verschiedene Farben in **MtG**: *weiß*, *blau*, *schwarz*, *grün* und *rot*. Außerdem gibt es auch Karten die keiner Farbe angehören und daher als *farblos* bezeichnet werden oder aber mehr als einer Farbe angehören, zum Beispiel gibt es Karten die sowohl *rot* als auch *grün* sind. [13]

2.1.1 Bestandteile einer Karte

KARTENNAME Jede Karte hat einen eindeutigen Namen.

Typ Jede Karte hat einen bestimmten Typ. Außerdem kann eine Karte zusätzlich noch einen *Subtyp*/*Untertyp* oder *Supertyp* haben. Zum Beispiel: Der Shivan Dragon in **Abbildung 2.1** hat den Typ *Kreatur* und als Untertyp *Drache*. [13]

REGELTEXT Enthält die *Fähigkeiten* einer Karte, sofern vorhanden.

FLAVOR-TEXT Enthält Informationen über den Welt von **MtG** und hat keinerlei Auswirkungen auf das Spielgeschehen.

SAMMLERNUMMER Hilft dabei die Karten einer Edition zu sortieren/organisieren.

KÜNSTLER Der Künstler von dem das Bild für die Karte stammt.

STÄRKE UND WIDERSTANDSKRAFT Jede *Kreatur* hat einen Wert für Stärke und Widerstandskraft. Die erste Zahl gibt die Stärke an und die zweite die Widerstandskraft.

EDITIONS-SYMBOL Gibt Auskunft über die Edition aus der die Karte stammt. Die Farbe des Symbols verrät die Seltenheit: schwarz für häufige, silbern für nicht ganz so häufige, golden für seltene und rot-orange für sagenhafte Karten. [13]



Abbildung 2.1: Bestandteile einer Karten

MANAKOSTEN Die Hauptressource in **MtG** ist *Mana*, welches von *Ländern* produziert und für das spielen von *Zaubern* benötigt wird. [13]

2.1.2 Kartentypen und Fähigkeiten

Jede Karte in **MtG** hat einen oder mehrere von den insgesamt sechs Typen (*Land*, *Artefakt*, *Kreatur*, *Verzauberung*, *Planeswalker*, *Spontanzauber* und *Hexerei*). An dem Kartentyp erkennt man wie sich die Karte verhält, das heißt wann man sie spielen kann und was danach mit ihr geschieht. [13]

Viele Karten haben Texte, die sich auf das Spielgeschehen auswirken können, sogenannte Fähigkeiten. Aufgrund der großen Anzahl an Karten und der damit verbunden hohen Anzahl an verschiedenen Fähigkeiten werden diese in *statische*, *ausgelöste* und *aktivierte Fähigkeiten* unterteilt. [13]

STATISCHE FÄHIGKEITEN heißen so, da sie, solange sich die Karte im Spiel befindet, sich nicht verändern und konstant aktiv ist.

AUSGELÖSTE FÄHIGKEITEN sind Fähigkeiten, die durch ein bestimmtes Ereignis ausgelöst werden. Es gibt mehrere Formulierungen anhand derer man diese Art identifizieren kann. Die häufigsten sind *wenn*, *immer wenn* und *zu*.

AKTIVIERTE FÄHIGKEITEN erkennt man am Doppelpunkt. Sie werden in der Form [Kosten] : [Effekt] angegeben, das heißt man muss etwas einsetzen, um die Fähigkeit zu aktivieren.

SCHLÜSSELWORTE Fähigkeiten, die auf ein einzelnes Wort oder Satz gekürzt sind und eventuell einen Erinnerungstext haben, heißen *Schlüsselwort-Fähigkeiten*. Meistens handelt es sich um *statische Fähigkeiten*, aber *ausgelöste* und *aktivierte Fähigkeiten* sind auch möglich.

2.2 AUFBAU EINES DECKS

Ein Deck muss aus mindestens 60 Karten bestehen, wobei nach oben hin keine Grenzen gesetzt sind. Aus strategischer Sicht ist es aber sinnvoll möglichst nicht mehr als 60 Karten zu verwenden, da sonst die Wahrscheinlichkeit sinkt, die passende Karte zu ziehen. Des Weiteren ist es verboten mehr als vier Exemplare einer Karte im Deck zu haben, mit Ausnahme von Standardland-Karten, welche beliebig oft im Deck sein dürfen. Daraus ergeben sich folgende Richtlinien: [13]

LÄNDER Ein Deck sollte zwischen 35% und 40% aus Ländern bestehen

KREATUREN Ein Deck sollte zwischen 25% und 40% aus Kreaturen bestehen. Dabei sollte beachtet werden, dass die Mana-Kosten gut verteilt sind

SONSTIGES Alles was nicht Land oder Kreatur ist und das Deck unterstützt

Turniere bieten eine Besonderheit, da es hier verschiedene Formate gibt. Bei manchen sind fast alle Karten erlaubt wohingegen bei anderen Formaten nur Karte der letzten paar Jahre erlaubt sind [3].

DIE GOLDENE REGEL Falls eine **MtG** Karte dem Regelbuch widerspricht, hat die Karte Vorrang. [13]

2.2.1 Deck-Typen

Durch die große Menge an Karten und die goldene Regel ergeben sich viele verschiedene Spielweisen und Strategien nach denen man sein Deck ausrichten kann. Dadurch entstehen einige Decktypen, die die oben genannten Richtlinien für ihre Strategie anpassen. Decks die eine ähnliche Strategie haben oder gleich aufgebaut sind, werden unter einem Deck-Typ zusammengefasst [8]. Besonders starke Deck-Typen entstehen häufig durch die Analyse der einzelnen Karten und den Ergebnissen eines Decks in Turnieren [8]. Ein wichtiger Begriff ist hierbei die sogenannte Manakurve. Sie gibt an wie ausgewogen die Mana-Kosten in einem Deck sind - eine "hohe Manakurve" bedeutet, dass das Deck viele teurer Karten hat, wohingegen eine "niedrige Manakurve" bedeutet, dass viele günstige Karten enthalten sind.

AGGRO Bei der Aggro-Strategie geht es darum den Gegner möglichst früh mit den eigenen Kreaturen zu überrennen. Es wird durch die eigenen Kreaturen möglichst früh Druck auf den Gegner ausgeübt, um ihn so in die Verteidigung zu bringen. Entscheidend für die Strategie sind eine geringe Manakurve und viele kleine Kreaturen. [3]

CONTROL Die Control-Strategie ist das genaue Gegenteil der Aggro-Strategie. Ziel ist es den Gegner solange in seiner Strategie zu stören, bis man im späten Spielverlauf die Partie mit eigenen wenigen starken Kreaturen das Spiel dominieren kann. Kontrolldecks setzten in erster Linie auf defensive Zauberkarten und wenige teure Kreaturen. [3]

MIDRANGE Midrange-Decks sind eine Kombination aus Aggro- und Kontrolldecks. Sie sind sehr effizient und können sich an die Strategie des Gegners anpassen. Anstatt sich auf eine Strategie festzulegen wechseln Midrange-Decks je nach Situation zwischen aggressiver und defensiver Spielweise. [3]

KOMBO Kombo-Decks nutzen Synergien die aus dem Zusammenspiel mehrerer Karten ergeben. Die Decks sind komplett darauf ausgerichtet, diese Synergien noch weiter zu unterstützen und dadurch die Oberhand in der Partie zu gewinnen. Aufgrund der Vielzahl an Karten gibt es unendlich viele Karten-Kombinationen. [3]

2.3 TURNIERE

Turniere werden ähnlich wie beim Schach nach dem Schweizer System gespielt. Dies ist eine Variante des Rundensystems bei der die Teilnehmer jede Runde spielen und die Paarungen sich anhand der bisherigen Spiel-Ergebnisse ergeben. Dadurch wird sichergestellt, dass Spieler mit ähnlichen Ergebnissen gegeneinander antreten [18]. Wie in [Tabelle 2.1](#) zu sehen, ist die Anzahl der gespielten Runden nach der Anzahl der Teilnehmer gestaffelt.

Eine Runde wird nach dem *Best-of-Three* Modus gespielt, das heißt die Runde ist beendet, sobald ein Spieler 2 Spiele gewonnen hat.

Tabelle 2.1: Anzahl der Runden die ab einer Teilnehmerzahl gespielt werden [4]

Spieler	Runden	Spieler	Runden
2	1	129-212	8
3-4	2	213-384	9
5-8	3	385-672	10
9-16	4	673-1248	11
17-32	5	1249-2272	12
33-64	6	2273+	13
64-128	7		

2.3.1 Match-Up

Match-Up ist ein Begriff, welcher aus der Deckanalyse stammt und die Gewinn- und Verlustchancen eines Decks gegen ein anderes beschreibt. Der Wert wird oft in Prozentangaben wie 60:40 angegeben oder auch einfach nur als schlechtes oder gutes Match-Up.

2.4 GRAPH-DATENBANKEN

Ein Graph ist eine Sammlung von Objekten (*Knoten*) und deren Verbindungen (*Kanten*). Graphen lassen sich vielfältig einsetzen, vom Straßennetz bis zur Krankengeschichte von Populationen [16]. In [Abbildung 2.2](#) sieht man eine einfache Unternehmenshierarchie als Graph dargestellt.

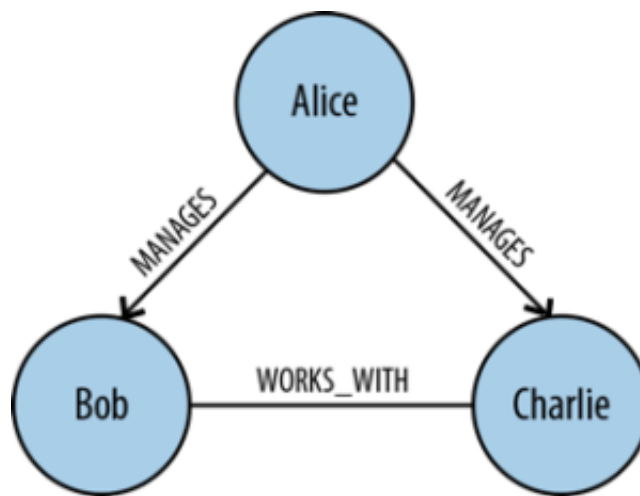


Abbildung 2.2: Einfacher Graph [2]

Ein *Graph Datenbank Management System* (kurz *Graph-Datenbank*) ist ein Datenbanken-Management-System, welches die Create Read Update Delete (**CRUD**) Eigenschaften unterstützt und ein Graph Daten-Modell bereitstellt [16].

Beziehungen in Graph-Datenbanken sind, im Gegensatz zu anderen Datenbank-Systemen, sogenannte *first class citizens*. Dies bedeutet, dass Objekte mit einander verbunden werden können ohne dazu Fremdschlüssel oder ähnliche Konstrukte zu verwenden. Dadurch sind die Datenmodelle einfacher und ausdrucksvoller als Modelle von relationalen oder anderen Not Only SQL (**NoSQL**) Datenbanken. [16]

2.4.1 Stärken von Graph-Datenbanken

Aufgrund der Tatsache, dass Abfragen nur auf einem Teil des Graphen arbeiten, bleibt die Performance einer Graph-Datenbank relativ konstant auch wenn der Datensatz wächst. Bei relationalen Datenbank Abfragen mit vielen

joins hingegen verschlechtert sich die Abfrageperformance bei zunehmenden Datensatz. [16]

Eine weitere Stärke von Graph-Datenbanken ist ihr flexibles Datenmodell. Es können neue Beziehungen, Knoten oder Untergraphen zu bestehenden Strukturen hinzugefügt werden ohne, dass es dabei zu Konflikten mit vorhandene Abfragen kommt. Dies bedeutet, dass das Datenmodell nicht ausführlich mit allen Details vor Projektbeginn vorhanden sein muss, sondern an geänderte Anforderungen im Laufe des Projekts angepasst werden kann. [16]

METHODE

3.1 ANALYSE DER ANFORDERUNGEN

3.1.1 Kartensuche

Aufgrund der großen Anzahl an Karten (>15.000 [17]) ist eine Suchfunktion hervorragend geeignet, um bestimmte oder ähnliche Karten zu finden. Wie in 2.1 beschrieben, enthält eine Karte viele verschiedenen Attribute. Daher ist es sinnvoll bei einer Suchfunktion die *Verknüpfung dieser Attribute* zu erlauben, sodass zum Beispiel nach allen Karten eines Künstlers, die in einem bestimmten Set erschienen sind, gesucht werden kann.

Da eine solche Suchfunktion oftmals webbasiert ist, muss es möglich sein, dass ein Benutzer die Ergebnisse in Echtzeit erhält.

3.1.2 Deckbau

Wie in 2.2 zu sehen ist, gibt es verschiedene Richtlinien die beim Deckbau zu beachten sind, sofern man ein gutes Deck erstellen möchte. Diese Richtlinien können sich jedoch abhängig vom Deck-Typen stark unterscheiden. Ein hilfreiches Werkzeug beim Deckbau ist daher die Deck-Analyse.

Die Berechnung der Kostenverteilung, das heißt die Manakurve, hilft ... Auch die Verteilung der einzelnen Kartentypen, das heißt die Anzahl der Kreaturen, Zauber, usw., ist für verschiedene Deck-Typen wichtig. So ist für ein Aggro-Deck eine hohe Anzahl an Kreaturen wichtig, wohingegen ein Control-Deck eher eine hohe Anzahl an Zaubern enthält. Da sich viele Decks aber nicht nur auf eine Farbe beschränken, ist es auch wichtig zu wissen, wie die Farben im Deck verteilt sind, um so die Manaquellen im Deck entsprechend zu verteilen.

Beim Deckbau werden in der Regel nur die Anzahl der Karte im Deck und ihr Name angegeben. Aus diesem Grund ist es wichtig den Inhalt des Decks mit den Karten-Daten zu verknüpfen, um Zugriff auf die benötigten Attribute zu haben. Außerdem sollte auch hier die Analyse die Ergebnisse in Echtzeit liefern, damit sich die Funktion für webbasierte Anwendungen eignet.

3.1.3 Turniere

Sowohl für professionelle Turnierspieler als auch für Amateure ist die Analyse vergangener Turniere wichtig, um ihre Decks bestmöglich an potentiell überlegende Decks anzupassen. Dazu ist die Berechnung des Match-Ups für

ein Deck-Typ wichtig. Dazu müssen die einzelnen Ergebnisse einer Runde eines Turniers mit den Decks verknüpft werden.

Ein weitere interessante Information ist die des erfolgreichsten Spielers oder des erfolgreichsten Deck(-Typen) über eine Auswahl an Turnieren.

Wie in den vorherigen Fällen ist auch hier eine webbasierte Anwendung wünschenswert und damit die Berechnung der Resultate in Echtzeit.

3.2 POTENTIELLE ANSÄTZE UND PROBLEME

3.2.1 Relationale Datenbanken

Ein Ansatz, welcher sich für kleine Online-Shops eignet, ist die Karten-Daten in einer relationalen Datenbank zu speichern [10]. Da ein Online-Shop nur einen Teil der Attribute einer Karte, wie Name, Seltenheit und Set, benötigt, kann das Datenbank Schema aus ein bis zwei Tabellen bestehen, die diese Informationen speichern. Für eine komplexe Suchfunktion, die alle Attribute einer Karte berücksichtigt, eignet sich dieser Ansatz allerdings nicht, da hier viele Tabellen benötigt werden, um die Daten zu speichern. Bei Daten mit vielen Beziehungen untereinander sorgen Relationale Datenbanken für komplexe Abfragen mit vielen JOINS, da diese hoch-strukturierte Daten nicht unterstützen [16]. In 1 ist beispielhaft eine komplexe Suchanfrage mit 7 benötigten JOINS angegeben.

```

1 SELECT * FROM `translations` AS `t`
2 JOIN `cards` ON `cards`.`id` = `t`.`card_id`
3 JOIN `cards_in_set` ON `cards_in_set`.`card_id` = `t`.`card_id`
4 JOIN `types` ON `cards`.`type_id` = `types`.`id`
5 JOIN `card_colors` ON `cards`.`id` = `card_colors`.`card_id`
6 JOIN `card_has_ability` ON `cards`.`id` = `card_has_ability`.`card_id`
7 JOIN `keyword_abilities` ON `card_has_ability`.`ability_id` = `
    keyword_abilities`.`id`
8 JOIN `sets` ON `sets`.`id` = `cards_in_set`.`set_id`
9 WHERE
10     `sets`.`release` > "2001-01-01" AND
11     `cards_in_set`.`rarity` = "RARE" AND
12     `t`.`lang` = "German" AND
13     `card_colors`.`color` = "BLUE" AND
14     `types`.`type` = "Creature" AND
15     `keyword_abilities`.`name` = "Flying" AND
16     `cards`.`cmc` <= 5

```

Listing 1: Komplexe SQL-Abfrage

3.2.2 NoSQL Datenbanken

NoSQL Datenbanken wie Key-Value-, Document- oder Column-oriented Stores eignen sich nicht für Daten mit vielen Verknüpfungen, da sie die Daten

nicht verbunden speichern. Eine Ausnahme sind die Graph-Datenbanken, da sie die Daten als Graph speichern, unterstützen sie daher Daten mit vielen Beziehungen untereinander von vornherein. [16]

[9] [20]

3.3 SOFTWARE-DESIGN

3.3.1 Daten-Schemata

Um das Daten-Schema für die relationale Datenbank darzustellen, wird Unified Modeling Language (UML) verwendet. Die Vorteile von UML liegen im Gegensatz zum Entity-Relationship-Modell (ER-Modell) darin, dass es weit verbreitet, standardisiert ist und sich gut für objektorientierte Programmierung (OOP) eignet [19]. In [Abbildung 3.1](#) befindet sich das Daten-Schema für die relationale Datenbank.

Wie viele Graph-Datenbanken nutzt auch Neo4j das Property-Graph-Modell um Daten darzustellen. Dieses Modell ist ein Untertyp des mathematischen Graph-Modells. Property-Graph-Modelle sind einfacher, aussagekräftiger und geben Beziehungen explizit an. relationales Datenbankmanagementsystem (RDBMS) verwenden Fremdschlüssel, um Beziehungen implizit anzugeben [11]. In [Abbildung 3.2](#) befindet sich ein möglicher Ansatz für ein Schema.

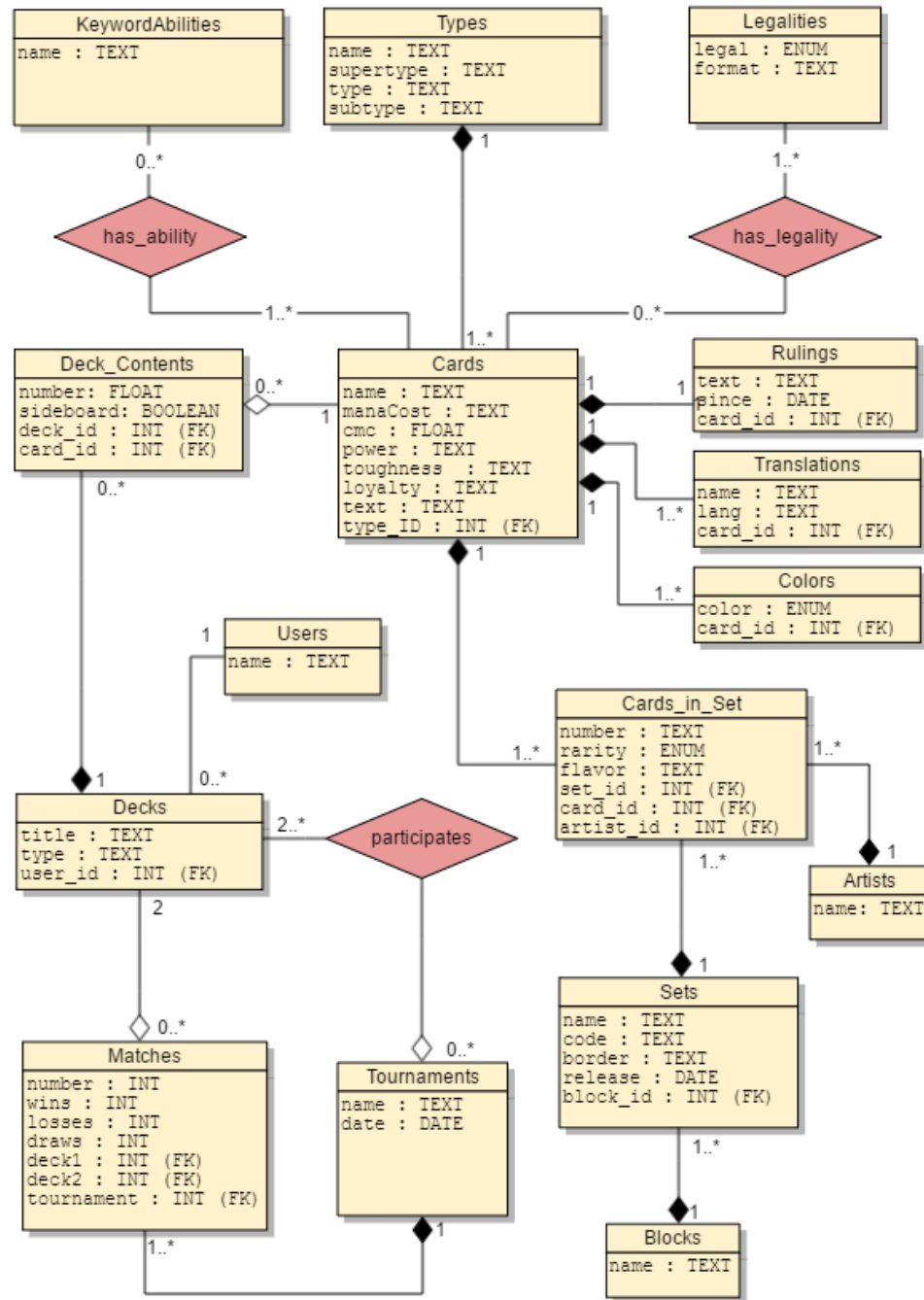


Abbildung 3.1: Schema für relationale Datenbank

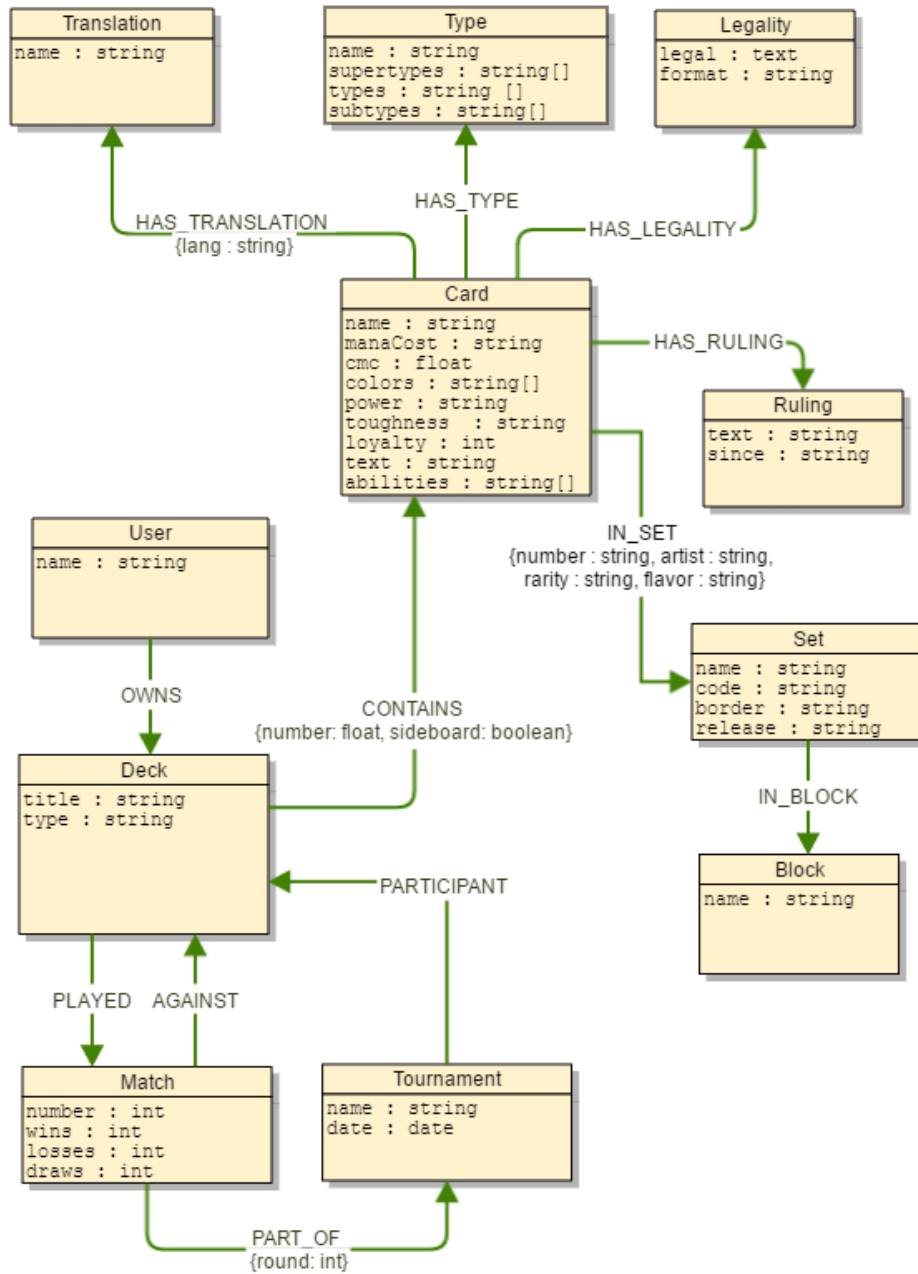


Abbildung 3.2: Schema für Graph-Datenbank

3.3.2 Beschreibung der Software-Komponenten

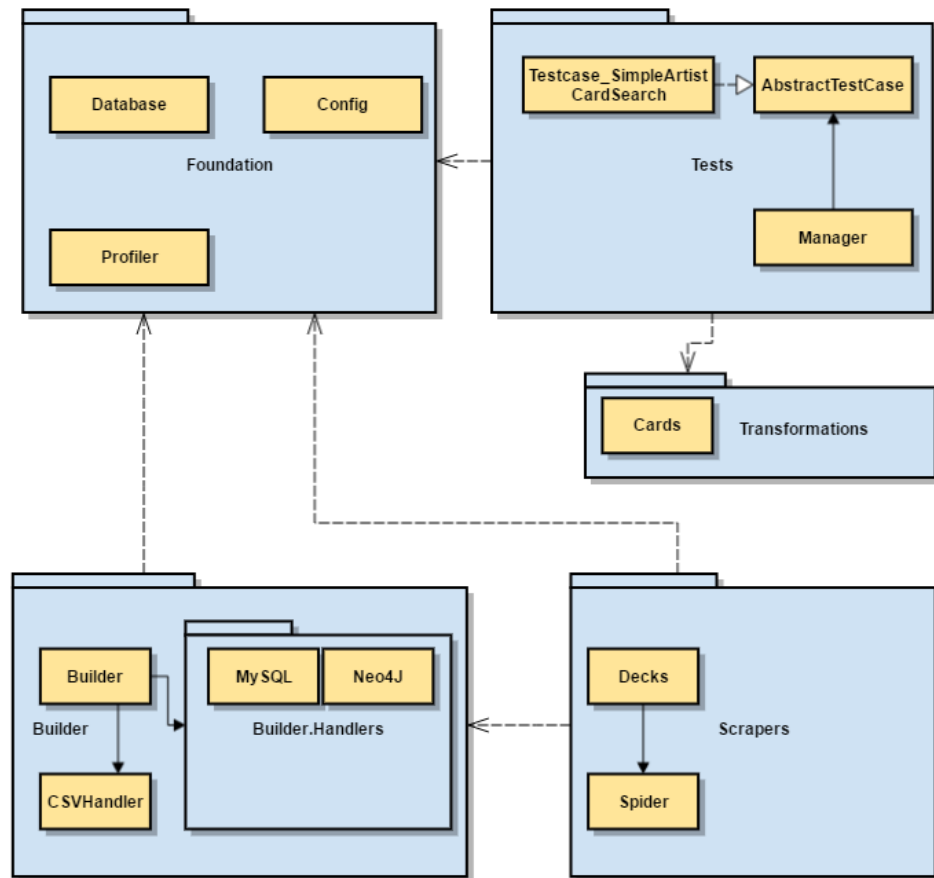


Abbildung 3.3: Software-Komponenten

BUILDER

Das Package Builder ist zuständig für das erstellen und befüllen der Datenbanken.

BUILDER.HANDLERS

Das Package Builder.Handlers enthält die Implementierungen für die konkreten Datenbanken

SCRAPERS

Das Package Scrapers lädt Decks von mtgtop8 ¹ herunter, um einen Datensatz für Decks und Turniere zu erstellen

TESTS

Enthält die konkreten Testfälle

TRANSFORMERS

Das Package Transformers ist zuständig für das Transformieren von Daten in eine vorgegebene Datenstruktur.

¹ mtgtop8 - <http://mtgtop8.com/>

3.3.3 Beschreibung der Schnittstellen

Builder

Die Komponente Builder nutzt die folgenden Schnittstellen:

FOUNDATION wird genutzt um ein Datenbank-Verbindungen zu erstellen

Scrapers

Die Komponente Scrapers nutzt die folgenden Schnittstellen:

FOUNDATION wird genutzt um auf die Konfiguration zuzugreifen

BUILDER wird genutzt um die Decks in Comma-separated values (**CSV**) Dateien zu speichern

Tests

Die Komponente Tests nutzt die folgenden Schnittstellen:

FOUNDATION wird genutzt um ein Datenbank-Verbindungen zu erstellen und mit dem Profiler die Testfälle zu überwachen

TRANSFORMATIONS um die ausgelesenen Daten in eine passende Datenstruktur zu überführen

3.4 IMPLEMENTIERUNG

3.4.1 Klassendiagramme

3.4.1.1 Builder.Builder

Die Klasse Builder.Builder hat die folgenden Schnittstellen:

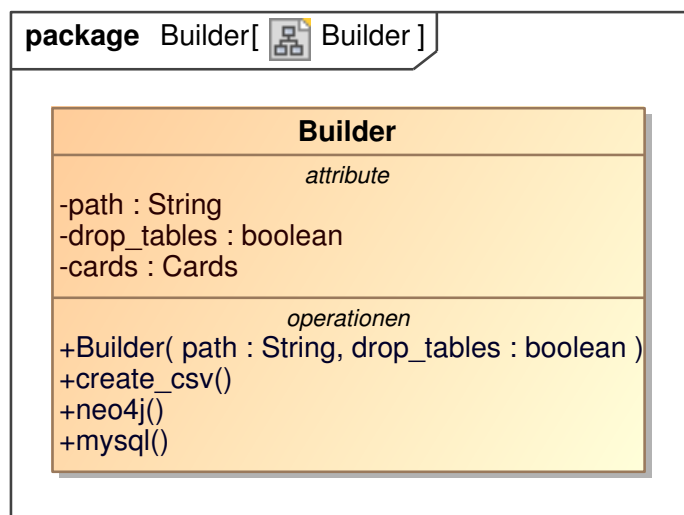


Abbildung 3.4: Klassendiagramm Builder.Builder

CONSTRUCTOR(PATH, DROP_TABLES)

Einrichten der Datenstruktur Cards und speichern der übergebenen Argumente. Die Liste der Argumente befindet sich in [Tabelle 3.1](#)

CREATE_CSV()

Lädt die Kartendaten aus der JavaScript Object Notation ([JSON](#))-Datei und speichert die aufbereiteten Ergebnisse in [CSV](#)-Dateien

NEO4J()

Erstellt und befüllt die Neo4j Datenbank mit den Daten aus den [CSV](#)-Dateien.

MYSQL()

Erstellt und befüllt die MySQL Datenbank mit den Daten aus den [CSV](#)-Dateien.

Tabelle 3.1: Builder.Builder::constructor(path : string, drop_tables : boolean)

EINGABE	BESCHREIBUNG
path : string	Pfad zu der JSON -Datei, welche die Karten-Daten enthält
drop_tables : boolean	Angabe ob vor dem Einfügen der Daten in die Datenbank, alte Daten gelöscht werden sollen

3.4.1.2 *Builder.Cards*

Die Klasse `Builder.Cards` hat die folgenden Schnittstellen:

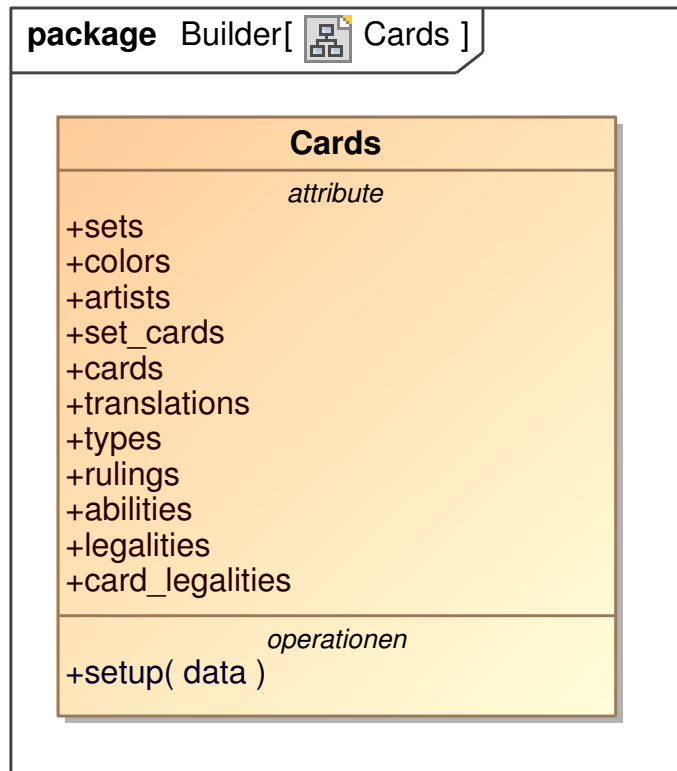


Abbildung 3.5: Klassendiagramm Builder.Cards

CONSTRUCTOR()

Erstelle Listen und Daten-Container.

SETUP(DATA)

Bearbeitet Kartendaten aus [JSON](#)-Datei so, dass diese als [JSON](#)-Dateien gespeichert werden können für den späteren Datenbank-Import. Die Liste der Argumente befindet sich in [Tabelle 3.2](#)

Tabelle 3.2: Builder.Cards::setup(data : Dictionary[])

EINGABE	BESCHREIBUNG
data : Dictionary[]	Liste mit allen Kartendaten die aufbereitet werden sollen

3.4.1.3 *Builder.CSVHandler*

Die Klasse `Builder.CSVHandler` hat die folgenden Schnittstellen:

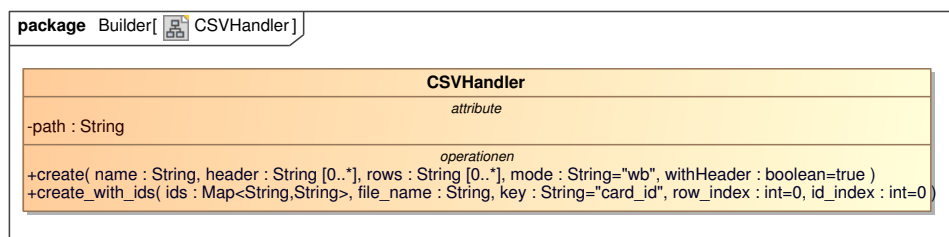


Abbildung 3.6: Klassendiagramm Builder.CSVHandler

3.4.1.4 *Builder.Tournaments*

Die Klasse `Builder.Tournaments` hat die folgenden Schnittstellen:

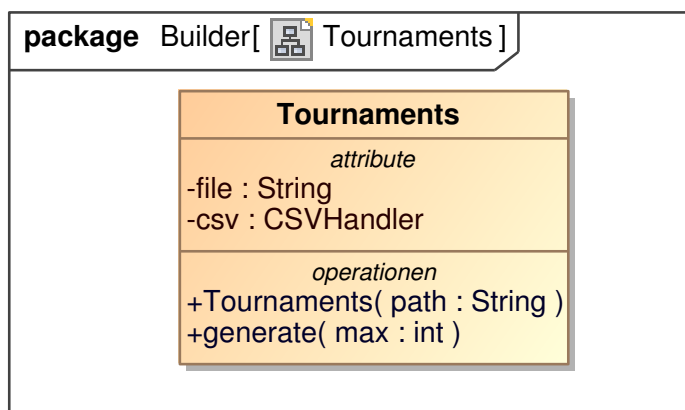


Abbildung 3.7: Klassendiagramm Builder.Tournaments

3.4.1.5 *Builder.Handlers.MySQLBuilder*

Die Klasse `Builder.Handlers.MySQLBuilder` hat die folgenden Schnittstellen:

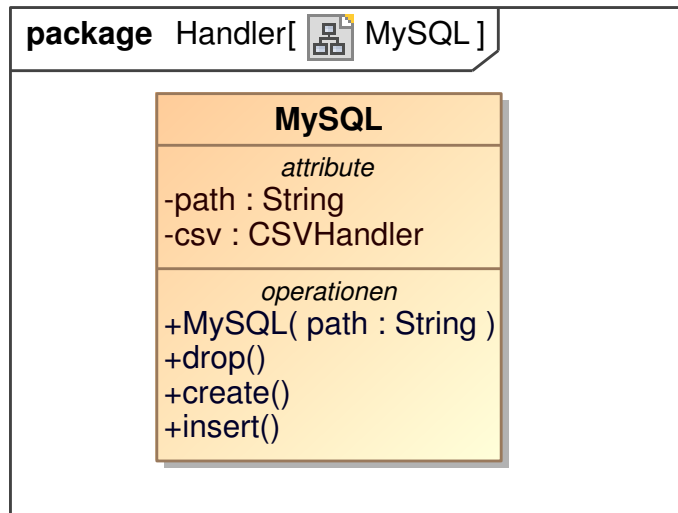


Abbildung 3.8: Klassendiagramm Builder.Handlers.MySQLBuilder

CONSTRUCTOR(PATH)

Speichern der übergebenen Argumente. Die Liste der Argumente befindet sich in [Tabelle 3.3](#)

DROP()

Löscht Tabellen.

CREATE()

Erstellt Tabellen.

INSERT()

Importiert Daten aus den [CSV](#)-Dateien.

Tabelle 3.3: Builder.Handlers.MySQLBuilder.constructor::setup(path : string)

EINGABE	BESCHREIBUNG
path : string	Pfad zu dem Verzeichnis welches die JSON und CSV Dateien enthält

3.4.1.6 *Builder.Handlers.Neo4jBuilder*

Die Klasse `Builder.Handlers.Neo4jBuilder` hat die folgenden Schnittstellen:

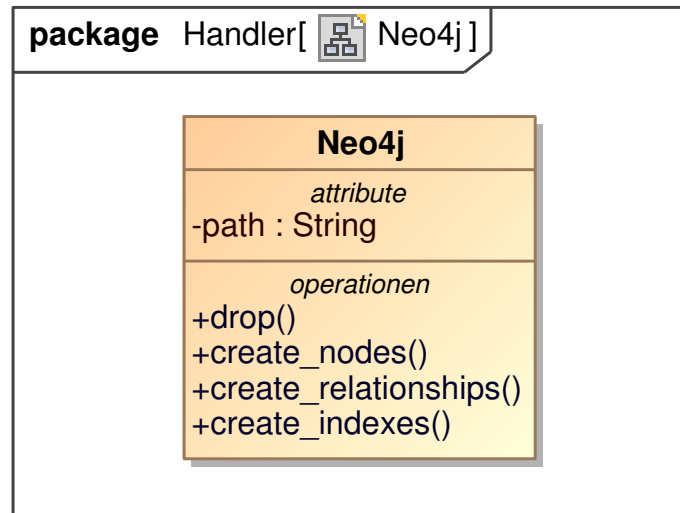


Abbildung 3.9: Klassendiagramm Builder.Handlers.Neo4jBuilder

CONSTRUCTOR(PATH)

Speichern der übergebenen Argumente. Die Liste der Argumente befindet sich in [Tabelle 3.4](#)

DROP()

Löscht Datenbank.

CREATE_NODES()

Erstellt alle Knoten mit Daten aus den [CSV](#)-Dateien.

CREATE_INDEXES()

Erstellt Indizes.

CREATE_RELATIONSHIPS()

Erstellen Beziehungen zwischen Daten aus den [CSV](#)-Dateien.

Tabelle 3.4: Builder.Handlers.Neo4jBuilder.constructor::setup(path : string)

EINGABE	BESCHREIBUNG
path : string	Pfad zu dem Verzeichnis welches die JSON und CSV Dateien enthält

3.4.1.7 *Foundation.Config*

Die Klasse `Foundation.Config` hat die folgenden Schnittstellen:

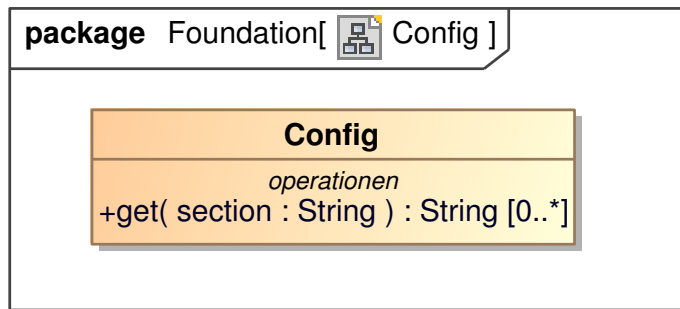


Abbildung 3.10: Klassendiagramm Foundation.Config

GET(SECTION)

Gibt einen Konfigurationsabschnitt aus der Datei config.ini zurück.
Die Liste der Argumente befindet sich in [Tabelle 3.5](#)

Tabelle 3.5: Foundation.Config::get(section : string) : string[]

EINGABE	BESCHREIBUNG
section : string	Name des Abschnitts der geladen werden soll
AUSGABE	BESCHREIBUNG
string[]	Konfigurationswerte des Abschnitts

3.4.1.8 Foundation.Database

Die Klasse Foundation.Database hat die folgenden Schnittstellen:

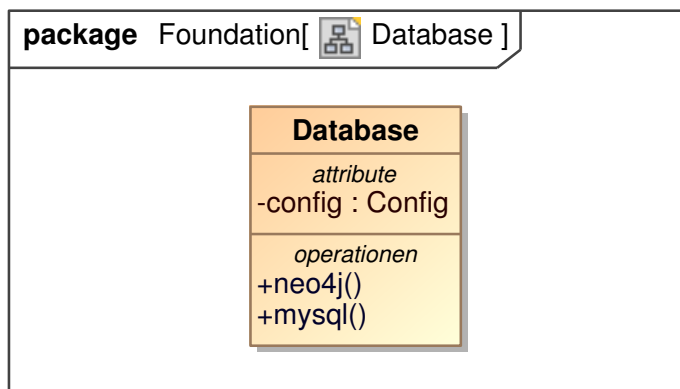


Abbildung 3.11: Klassendiagramm Foundation.Database

CONSTRUCTOR()

Erstellt eine neue Foundation.Config Instanz und speichert diese in config.

NEO4J()

Gibt eine neue Neo4j Datenbank-Instanz zurück.

MYSQL()

Gibt eine neue Mysql Datenbank-Instanz zurück.

3.4.1.9 *Foundation.Profiler*

Die Klasse `Foundation.Profiler` hat die folgenden Schnittstellen:

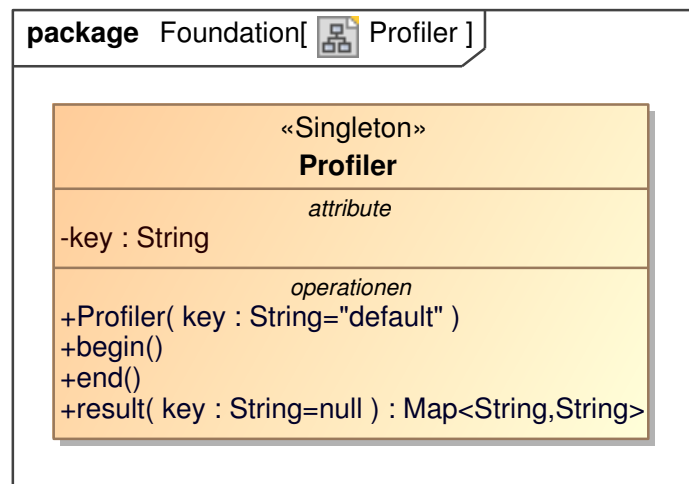


Abbildung 3.12: Klassendiagramm `Foundation.Profiler`

3.4.1.10 *Transformations.Cards*

Die Klasse `Transformations.Cards` hat die folgenden Schnittstellen:

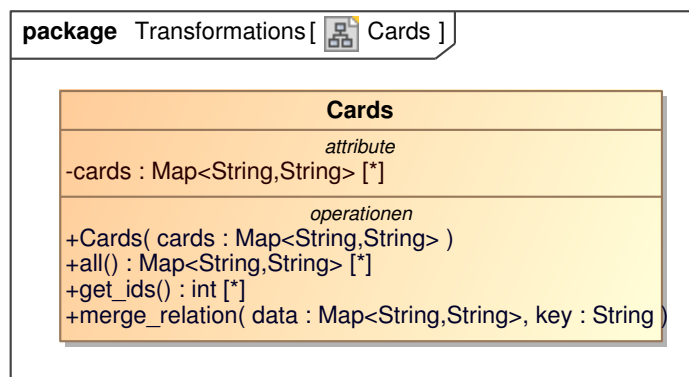


Abbildung 3.13: Klassendiagramm `Transformations.Cards`

CONSTRUCTOR(CARDS)

Speichert Karten in `cards`. Die Liste der Argumente befindet sich in [Tabelle 3.6](#)

`ALL()`

Ausgabe aller Karten

`GET_IDS()`

Gibt eine List von allen Karten-IDs zurück.

`MERGE_RELATION(DATA, KEY, ITEM_CALLBACK)`Fügt die Daten einer Beziehung zu den Karten-Daten hinzu. Die Liste der Argumente befindet sich in [Tabelle 3.7](#)

Tabelle 3.6: Transformations.Cards::constructor(cards : Dictionary[])

EINGABE	BESCHREIBUNG
cards : Dictionary[]	Zu bearbeitende Karten

Tabelle 3.7: Transformations.Cards::merge_relation(data : Dictionary[], key : string, item_callback : Closure)

EINGABE	BESCHREIBUNG
data : Dictionary[]	Daten der Verknüpfung
key : string	Name unter dem die Verknüpfung in den Karten-Daten verfügbar sein soll
item_callback : Closure	Funktion, um Elemente der Verknüpfung zu bearbeiten bevor diese zu den Karten-Daten hinzugefügt werden

3.4.1.11 Tests.AbstractTestCase

Die Abstrakte Klasse `Tests.AbstractTestCase` hat die folgenden Schnittstellen:

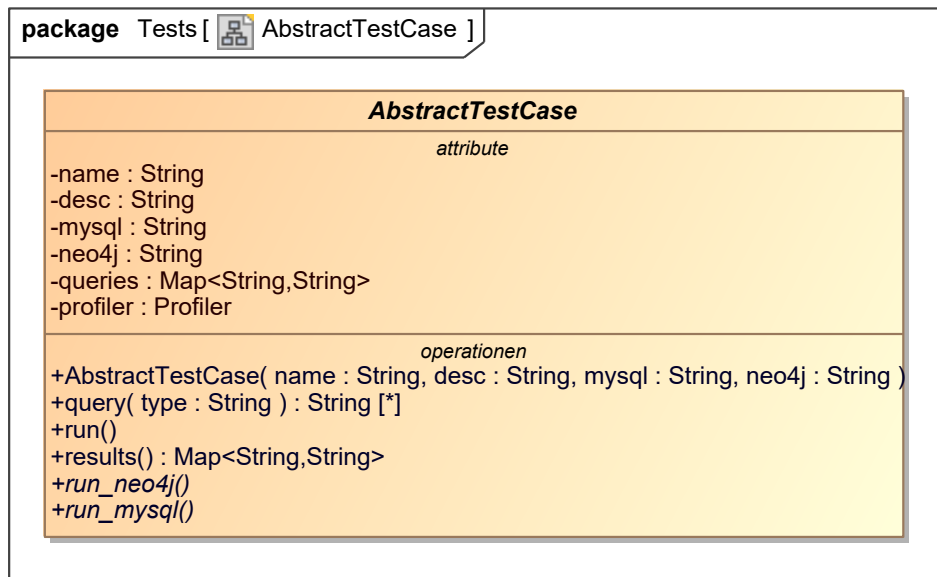


Abbildung 3.14: Klassendiagramm Tests.AbstractTestCase

CONSTRUCTOR(NAME, DESC, MYSQL, NEO4J)

Setzt den Namen `name` und die Beschreibung `desc` des Testfalls. Außerdem werden die Schlüssel `mysql` und `neo4j` festgelegt, welche für die Testergebnisse benutzt werden. Die Liste der Argumente befindet sich in [Tabelle 3.8](#)

QUERY(TYPE)

Gibt alle Abfragen für `type = [mysql, neo4j]` die in dem Test ausgeführt werden zurück.

RUN()

Führt Test durch.

RESULTS()

Gibt aufgezeichnete Ergebnisse zurück nachdem der Test ausgeführt wurde.

RUN_NEO4J()

Testfall für Neo4j-Datenbank.

RUN_MYSQL()

Testfall für MySQL-Datenbank.

3.4.1.12 Tests.Manager

Die Klasse `Tests.Manager` hat die folgenden Schnittstellen:

Tabelle 3.8: Tests.AbstractTestCase::constructor(name : string, desc : string, mysql : string, neo4j : string)

EINGABE	BESCHREIBUNG
name : string	Name des Testfalls
desc : string	Beschreibung des Testfalls
mysql : string	Schlüssel für MySQL-Testergebnisse
neo4j : string	Schlüssel für Neo4j-Testergebnisse

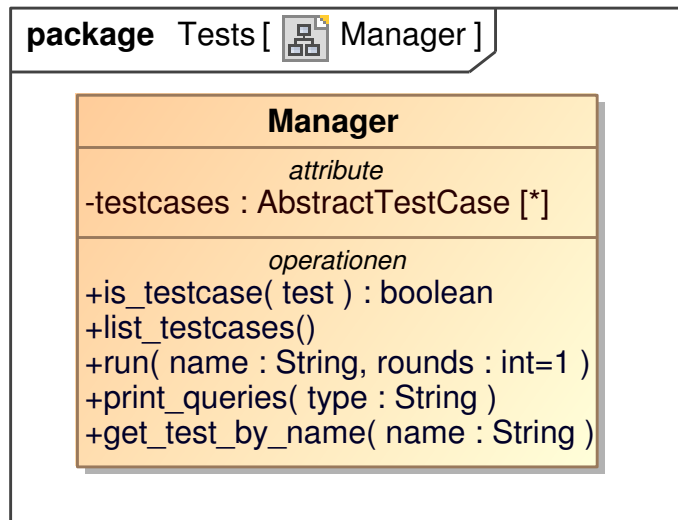


Abbildung 3.15: Klassendiagramm Tests.Manager

CONSTRUCTOR

Lädt alle Testfälle und speichert diese in testcases

IS_TESTCASE(TEST)

Prüft ob ein Objekt test ein Testfall ist, das heißt von Tests.AbstractTestCase abgeleitet ist.

LIST_TESTCASES()

Gibt eine Liste der verfügbaren Tests in testcases aus

RUN(NAME, ROUNDS)

Führt den Testfall name rounds-mal hintereinander aus

PRINT_QUERIES(NAME)

Gibt alle Abfragen des Testfalls name aus.

GET_TEST_BY_NAME(NAME)

Gibt den Testfall name zurück, sofern dieser sich in testcases befindet

Tabelle 3.9: Tests.Manager::constructor(name : string, desc : string, mysql : string, neo4j : string)

EINGABE	BESCHREIBUNG
name : string	Name des Testfalls
desc : string	Beschreibung des Testfalls
mysql : string	Schlüssel für MySQL-Testergebnisse
neo4j : string	Schlüssel für Neo4j-Testergebnisse

3.4.2 Schnittstellenrealisierung

3.4.2.1 Fetch

Fetch decks from mtgtop8.com [12]

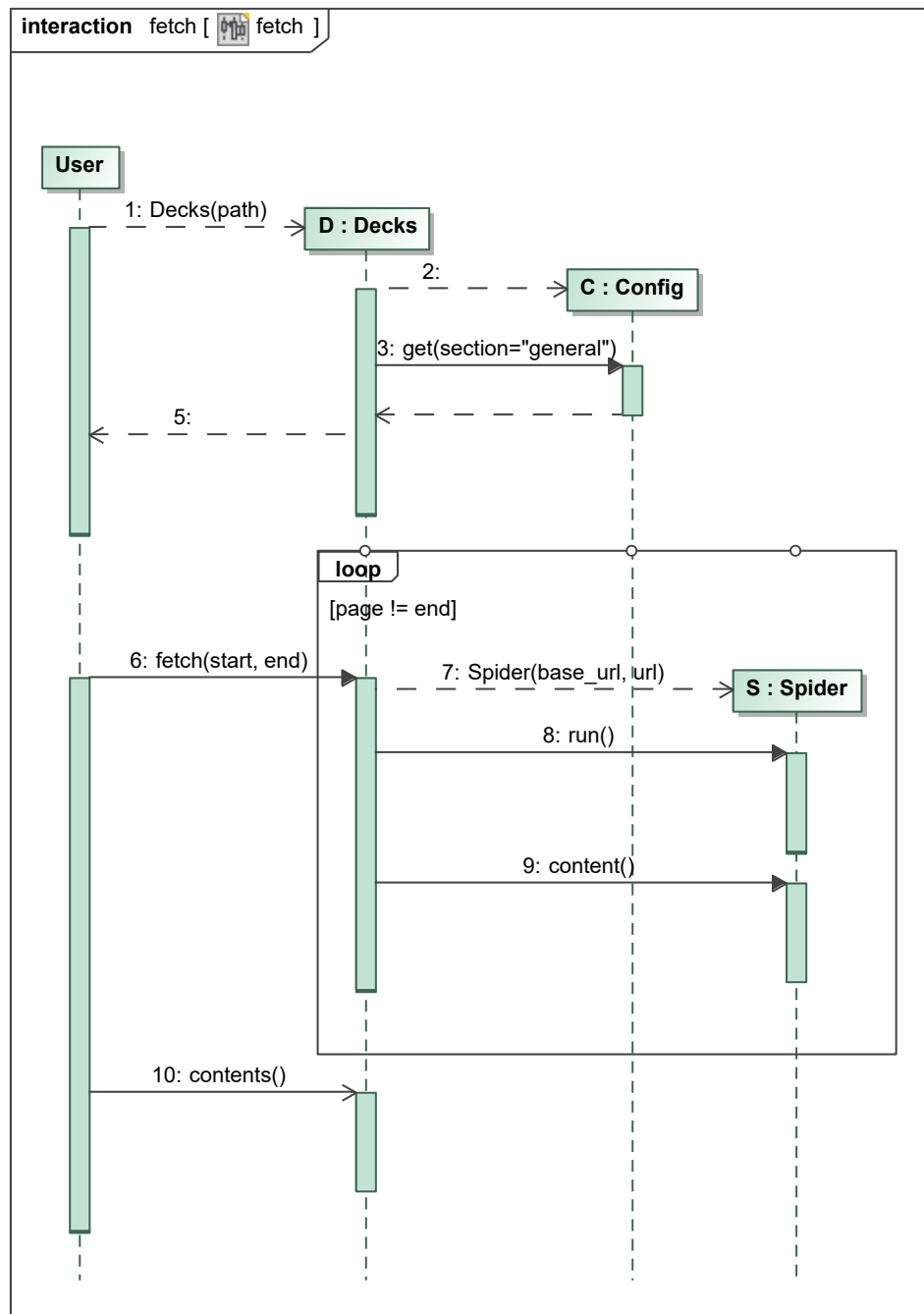


Abbildung 3.16: Sequenzdiagramm Fetch

3.4.2.2 Build

Build [12]

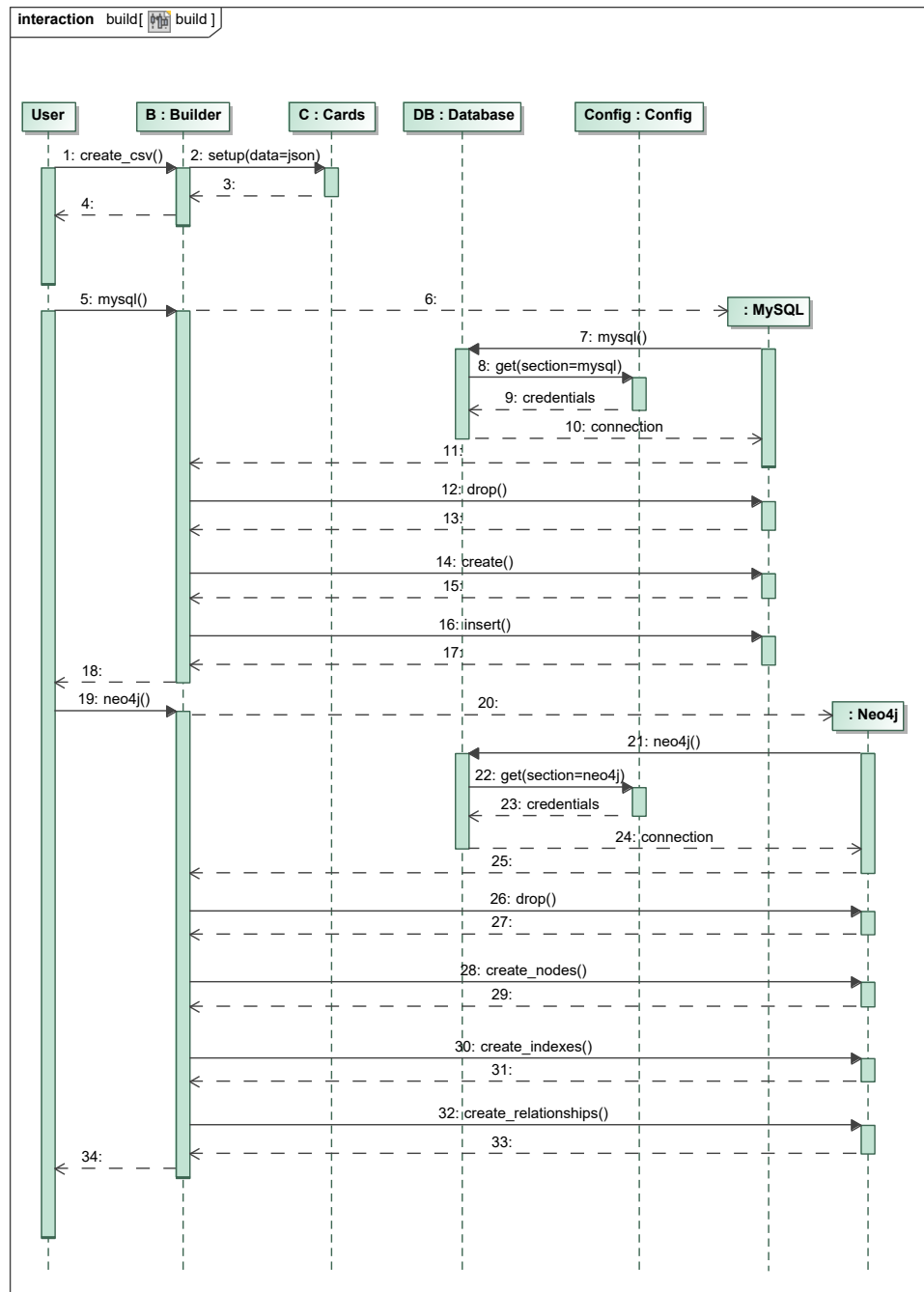


Abbildung 3.17: Sequenzdiagramm build

3.5 AUSGEWÄHLTER ANSATZ UND DETAILLÖSUNGEN

3.5.1 Datenbasis

Als Basis der Kartendaten wird `mtgjson`² benutzt, welche `MtG` Kartendaten als `JSON` bereitstellt. Die Decks hingegen werden von `mtgtop8`³ bezogen.

3.5.2 Datenbanken

Als Graph-Datenbank wird `Neo4j` eingesetzt, da diese eine hoch skalierbare Datenbank ist, welche auf allen gängigen Betriebssystemen läuft [7]. Des Weiteren besitzt `Neo4j` mit `Cypher` eine ausdrucksstarke Abfragesprache. Ein Vorteil von `Cypher` ist, dass ab `Neo4j 2.1` der Import aus `CSV`-Dateien unterstützt wird. [14]

Als `RDBMS` wird `MariaDB`⁴ eingesetzt, welche vom Urheber von `MySQL` entwickelt wird. `MariaDB` ist ein Fork von `MySQL` und gilt als dessen evolutionäre Nachfolger. [1]

3.5.2.1 Import der Daten

Da eine große Menge an Daten importiert werden müssen, zum Beispiel über 90.000 Übersetzungen, ist eine schnelle Import-Funktion hilfreich. In 2 befindet sich ein Kommando, um Übersetzungen nach `Neo4j` zu importieren und in 3 ein Kommando, um nach `MySQL` zu importieren.

```
1 USING PERIODIC COMMIT 1000
2 LOAD CSV WITH HEADERS FROM "file:translations.csv" AS row
3 CREATE (:Translation { name: row.name });
```

Listing 2: Importieren von Übersetzungen

```
1 LOAD DATA LOCAL INFILE 'translations.csv' INTO TABLE `translations`
2 CHARACTER SET UTF8
3 FIELDS TERMINATED BY ','
4 ENCLOSED BY '"'
5 LINES TERMINATED BY '\r\n'
6 IGNORE 1 LINES
7 SET (@card, name, lang, card_id);
```

Listing 3: Importieren von Übersetzungen

2 <http://mtgjson.com>
 3 <http://mtgtop8.com>
 4 <https://mariadb.com>

3.5.3 *Programmiersprache*

Als Programmiersprache wird *PyPy*⁵, eine alternative *Python* Implementierung, verwendet. Die Vorteile von PyPy sind der integrierte Just-in-time (JIT) Compiler, wodurch sich eine schnellere Ausführungszeit ergibt, und der geringere Speicherverbrauch. [5]

3.5.3.1 *Profiling*

Mit einem *Profiler* können verschiedene Werte wie *Ausführungszeit* oder *Speicherverbrauch* gemessen werden [5]. Um vergleichen zu können, wie gut die Datenbanksysteme in den einzelnen Testfällen abschneiden, werden die Ausführungszeit und der Speicherverbrauch gemessen.

Für die Ausführungszeit kann eine einfache Timer-Klasse⁶ benutzt werden. Um den Speicherverbrauch zu messen wird die Python-Bibliothek *psutil* benutzt⁷, da diese eine einfache und plattformübergreifende Methode bietet den Speicherverbrauch auszulesen.

⁵ <http://pypy.org>

⁶ <https://www.huynh.com/posts/python-performance-analysis>

⁷ http://fa.bianp.net/blog/2013/different-ways-to-get-memory-consumption-or-lessons-learned-from-memory_profiler/

ERGEBNISSE

4.1 VALIDIERUNG DES GESAMTKONZEPTES

In [Tabelle 4.1](#) befindet sich eine Auflistung der Probleme die in [Abschnitt 3.1](#) beschrieben wurden und welche Testfälle erforderlich sind, um die Anforderung zu überprüfen.

Jeder Test wurde 1000mal sowohl auf Neo4j als auch auf MySQL ausgeführt, um den Einfluss von Messfehlern zu reduzieren (*Gesetz der Großen Zahlen*). Bei jedem Test wurde die Ausführungszeit in Millisekunden (ms) und der Speicherverbrauch in MByte gemessen. Um sicherzugehen, dass Caching oder Systemprozesse die Ergebnisse nicht beeinflussen, wurden die 10 längsten und kürzesten Zeiten verworfen. Die übriggebliebenen Werte wurden gemittelt und die Standardabweichung wurde berechnet, um zu schauen wie groß die Fehlergrenze ist.

Um zu erfahren wie gut die beiden Datenbanken skalieren, wurden außerdem die Testfälle stückweise auf größeren Datensätzen ausgeführt. Diese Datensätze wurden zufällig generiert und basieren nicht auf echten Daten. Als Staffelung für die Tests wurden *100.000, 250.000, 500.000 und 1.000.000* Karten/Turniere gewählt.

4.2 BESCHREIBUNG UND MOTIVATION DER TESTFÄLLE

4.2.1 Testfall 1: Schlüsselwort-Fähigkeit

Eine einfache Suche, um die ersten 300 Karten mit dem Schlüsselwort-Fähigkeit *Flying* zu erhalten. Wie in [Abbildung 3.1](#) zu sehen ist, werden die Fähigkeiten in MySQL in einer eigenen Tabelle gespeichert. In Neo4j hingegen können diese als Attribut von *Card* hinterlegt werden (*siehe [Abbildung 3.2](#)*), da Neo4j den Datentyp *Array* unterstützt. Mit diesem Test lässt sich also vergleichen wie gut sich Arrays im Vergleich zu joins beim durchsuchen eignen.

4.2.2 Testfall 2: Textsuche

Eine einfache Suche nach den Karten, die den Namen *Forest* enthalten und die entweder von *Aleksi Briclot* oder *John Avon* gezeichnet wurden. Da Karten anhand ihres Namens identifiziert werden, ist es sinnvoll zu testen wie gut sich eine Textsuche in den beiden Datenbanksystemen funktioniert.

Tabelle 4.1: Erforderliche Testfälle

ANFORDERUNG	TESTFALL
Kartensuche: Schlüsselwort-Fähigkeit	Suche alle Karten mit einer bestimmten Fähigkeit
Kartensuche: Textsuche	Suche nach einer Zeichenkette die in einem Kartennamen vorkommt
Kartensuche: Verknüpfungen	Suche anhand verschiedener Karten-Attribute
Turnier: Matchup Analyse	Berechne das Matchup eines Deck-Typen

4.2.3 Testfall 3: Verknüpfungen

Eine komplexe Suche nach Karten, welche bestimmte Kriterien erfüllen (*siehe 1*). Es wird nach Karten gesucht, die folgende Eigenschaften erfüllen:

- in einem Set nach dem *01.01.2001* erschienen
- als Seltenheit *RARE* besitzen
- in *deutscher* Sprache erschienen
- als Farbe *Blau* haben
- vom Typ *Kreatur* sind
- die Fähigkeit *Flying* besitzen
- umgewandelte Manakosten von *maximal 5* haben

4.2.4 Testfall 4: Matchup Analyse

Berechnung des Matchup für den Deck-Typ *Bant*. Es werden alle Matches analysiert an denen ein Deck vom Typ *Bant* beteiligt war und überprüft ob das Deck gewonnen oder verloren hat. Die Ergebnisse werden dann anhand der gegnerischen Deck-Typen gruppiert und geordnet. Insgesamt gibt es im Standard-Testfall 1000 Turniere, die jeweils zwischen 2 und 6 Matches enthalten.

4.3 ÜBERSICHT UND BEWERTUNG DER ERZIELTEN ERGEBNISSE

4.3.1 Laufzeit

Die gemessenen Laufzeiten samt ihrer Standardabweichung sind in *Abbildung 4.1* als Fehlerbalkendiagramm und in *Tabelle 4.2* tabellarisch darge-

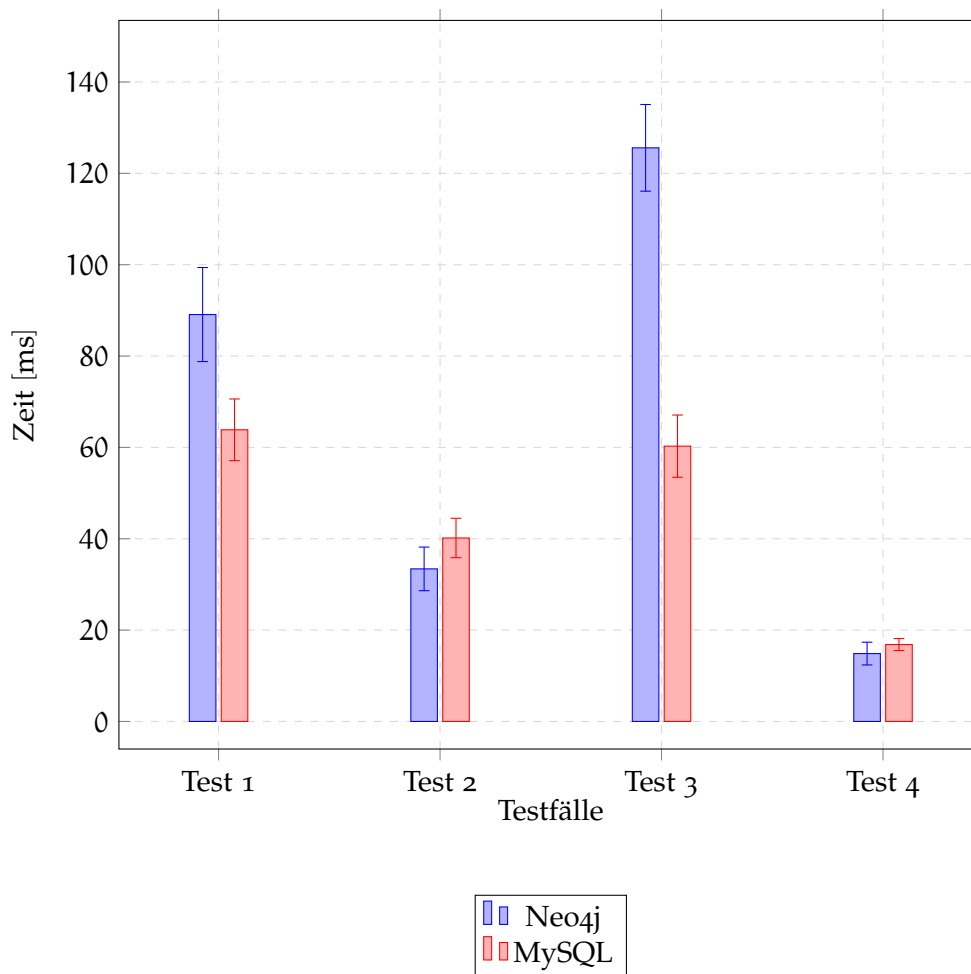


Abbildung 4.1: Ausführungszeit der einzelnen Testfälle

stellt. Der große Unterschied in der Laufzeit bei *Testfall 1* lässt sich vermutlich damit erklären, dass bei MySQL für die Keywords zwei Tabellen und damit 2 zusätzliche *JOINS* benötigt werden. Bei Neo4j hingegen sind die Keywords direkt als Array in den Karten-Daten enthalten. Allgemein lässt sich erkennen, dass Neo4j (mit Ausnahme von *Test 3*) eine kürze Laufzeit als MySQL hat.

4.3.2 Skalierbarkeit

Tabelle 4.2: Gemessene Laufzeiten der Testfälle

Test	Neo4j (ms)	Neo4j STD (ms)	MySQL (ms)	MySQL STD (ms)
Test 1	89.0865	10.29330	63.8553	6.7512
Test 2	33.4044	4.77503	40.1673	4.3124
Test 3	125.5850	9.48998	60.2748	6.8150
Test 4	14.8638	2.49095	16.8374	1.3103

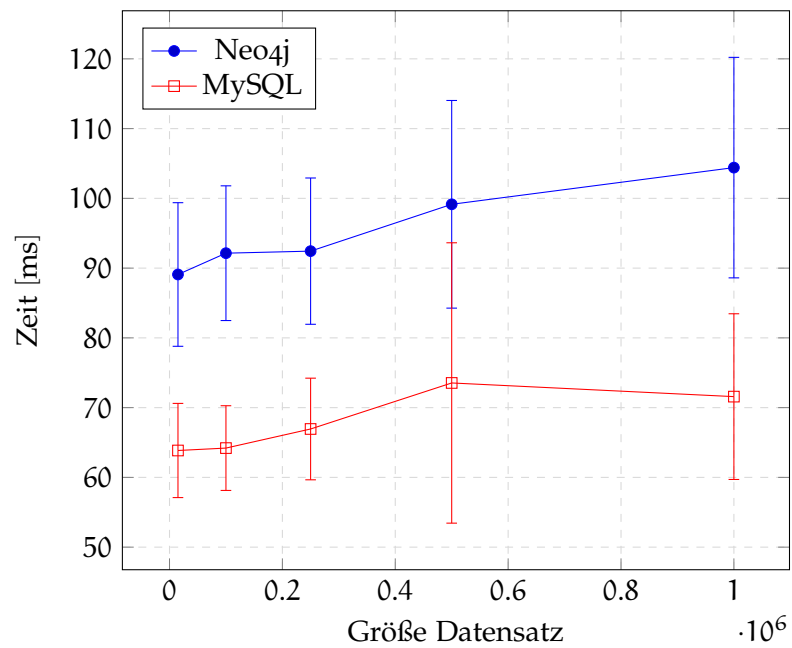


Abbildung 4.2: Skalierung Testfall 1

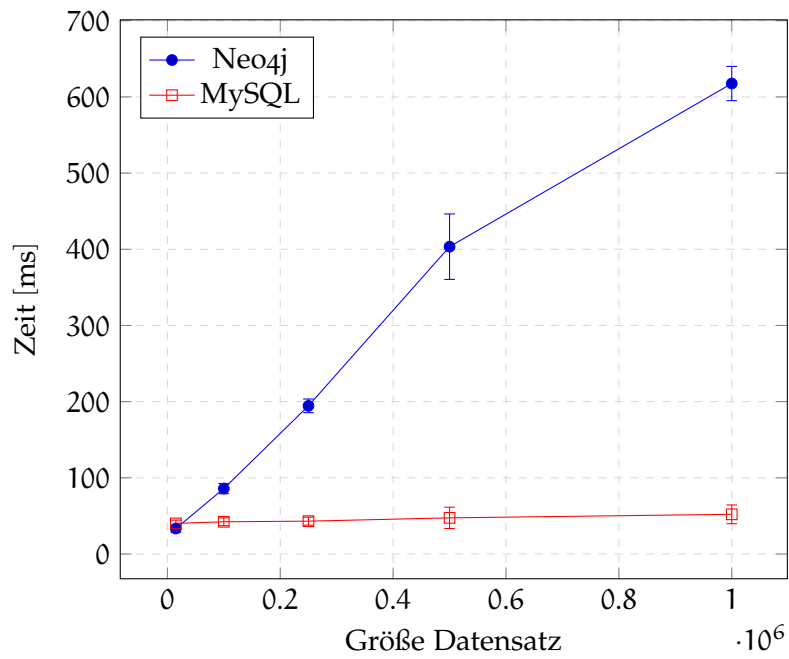


Abbildung 4.3: Skalierung Testfall 2

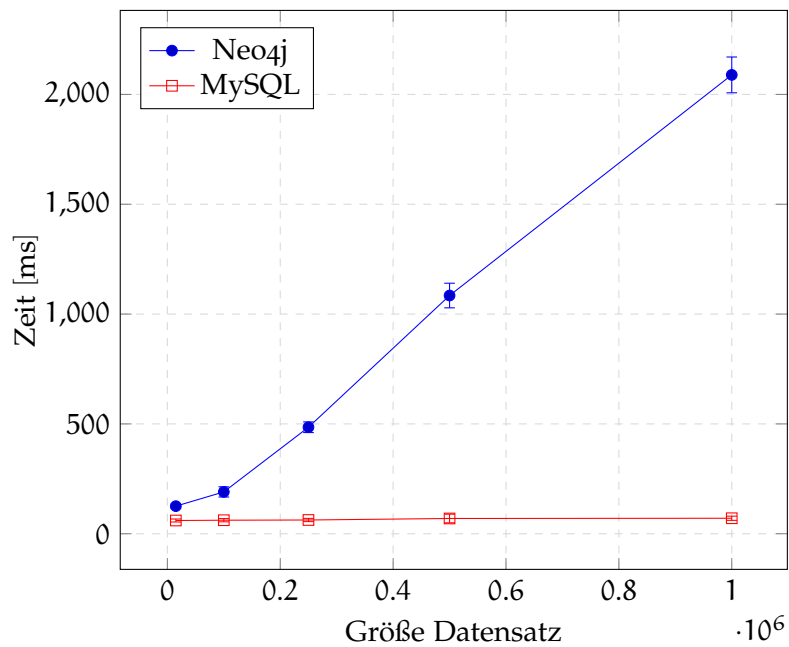


Abbildung 4.4: Skalierung Testfall 3

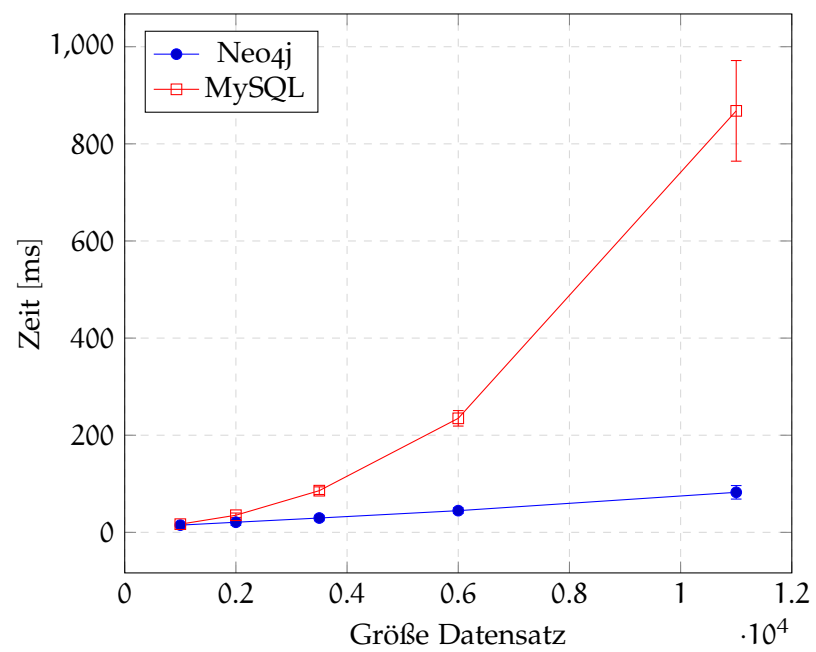


Abbildung 4.5: Skalierung Testfall 4

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] D. Bartholomew. *Getting Started with MariaDB*. Community experience distilled. Packt Publishing, 2013. ISBN: 9781782168102.
- [2] Joy Chao. *Graph Databases for Beginners: Graph Theory & Predictive Modeling*. 2016. URL: <https://neo4j.com/blog/graph-theory-predictive-modeling>.
- [3] Wizards of the Coast. *SPIELINFOS/GAMEPLAY STELLE DEIN EIGENES MAGIC-DECK ZUSAMMEN*. 2016. URL: <http://magic.wizards.com/de/game-info/gameplay/how-to-build-a-deck>.
- [4] Wizards of the Coast. *WHAT ARE SWISS PAIRINGS?* 2016. URL: <http://magic.wizards.com/en/game-info/products/magic-online/swiss-pairings>.
- [5] F. Doglio. *Mastering Python High Performance*. Packt Publishing, 2015. ISBN: 9781783989317.
- [6] Dustin Fink, Benjamin Pastel und Neil Sapra. "Predicting the strength of Magic: The Gathering cards from card mechanics". In: ().
- [7] A. Goel. *Neo4j Cookbook*. Quick answers to common problems. Packt Publishing, 2015. ISBN: 9781783287260.
- [8] Roger Hau, Evan Plotkin und Hung Tran. *Magic: The Gathering Deck Performance Prediction*. Techn. Ber. Stanford University.
- [9] Garima Jaiswal und Arun Prakash Agrawal. "Comparative analysis of Relational and Graph databases". In: *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)* (2013).
- [10] G Johnson, Z Wang und X Zhang. "An Online Database System for Card Stores". In: *Proceedings of the International Conference on e-Learning, e-Business, Enterprise Information Systems, and e-Government (EEE)*. The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering und Applied Computing (WorldComp). 2013, S. 120.
- [11] M. Lal. *Neo4j Graph Data Modeling*. Packt Publishing, 2015. ISBN: 9781784397302.
- [12] *MTGTOP8 - netdecking with the stars*. URL: <http://mtgtop8.com>.
- [13] Del Laugel Matt Tabak und Kelly Digges. *Magic: the Gathering Basic Rulebook 2013*, S. 4–7.
- [14] Onofrio Panzarino. *Learning Cypher*. Packt Publishing, 2014. ISBN: 1783287756, 9781783287758.
- [15] Boris A Perkhounkov, Cooper Gates Frye und Emily Margaret Franklin. "Financial Magic". In: ().
- [16] I. Robinson, J. Webber und E. Eifrem. *Graph Databases: New Opportunities for Connected Data*. O'Reilly Media, 2015. ISBN: 9781491930861.

- [17] Robert Schults und Sergio Moura. *MTG JSON*. URL: <http://mtgjson.com>.
- [18] StarCityGames.com. *What is a Swiss-style tournament?* 2016. URL: <http://sales.starcitygames.com/FAQ.php?ID=92>.
- [19] T.J. Teorey, S.S. Lightstone, T. Nadeau und H.V. Jagadish. *Database Modeling and Design: Logical Design*. The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems. Elsevier Science, 2011. ISBN: 9780123820211.
- [20] Chad Vicknair, Michael Macias, Zhendong Zhao, Xiaofei Nan, Yixin Chen und Dawn Wilkins. "A comparison of a graph database and a relational database: a data provenance perspective". In: *Proceedings of the 48th annual Southeast regional conference*. ACM. 2010, S. 42.