



# 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

---

It is often difficult to quickly analyze cards, decks or tournaments in relational databases such as MySQL. The database queries get complex rather quickly and contain many JOIN commands, which adversely affects scalability. The many JOIN commands result from the fact that cards and decks have many attributes and therefore many relationships. Particularly larger tournaments contain many games, which increases the size of the data set fast and thereby having a negative effect on the runtime due to the bad scaling. Therefore the solution is the use of graph databases as these can represent such data superb and work with many relationships. Through the use of a graph database, tournaments can be analyzed well, but it is not quite as good for text searches. It has also been shown that searching in arrays in Neo4j is slower than joining and looking for data with the JOIN command.

## ZUSAMMENFASSUNG

---

Es ist oftmals schwer Karten, Decks oder Turniere in relationalen Datenbanken wie MySQL schnell zu analysieren oder zu durchsuchen. Die Datenbankabfragen werden schnell kompliziert und enthalten viele JOIN-Befehle, was sich negativ auf die Skalierbarkeit auswirkt. Die vielen JOIN-Befehle resultieren daraus, dass Karten und Decks viele Attribute und damit Verknüpfungen haben. Besonders größere Turniere enthalten viele Spiele wodurch der Datensatz schnell steigt, was sich aufgrund der schlechten Skalierung negativ auf die Laufzeit auswirkt. Als Lösung bietet sich daher die Verwendung von Graph-Datenbanken an, da diese Daten mit vielen Verknüpfungen gut darstellen und darauf arbeiten können. Durch den Einsatz einer Graph-Datenbank lassen sich Turniere gut analysieren, aber für Textsuchen eignen sie sich nicht ganz so gut. Außerdem hat sich gezeigt, dass das Suchen in Arrays in Neo4j langsamer ist als die Daten per JOIN einzubinden und darauf zu suchen.



# INHALTSVERZEICHNIS

---

1	EINLEITUNG	1
2	GRUNDLAGEN	5
2.1	Aufbau einer Karte	5
2.1.1	Bestandteile einer Karte	5
2.1.2	Kartentypen und Fähigkeiten	6
2.2	Aufbau eines Decks	7
2.2.1	Deck-Typen	7
2.3	Turniere	8
2.3.1	Match-Up	9
2.4	Graph-Datenbanken	9
2.4.1	Stärken von Graph-Datenbanken	9
3	METHODE	11
3.1	Analyse der Anforderungen	11
3.1.1	Kartensuche	11
3.1.2	Deckbau	11
3.1.3	Turniere	12
3.2	Potentielle Ansätze und Probleme	12
3.2.1	Relationale Datenbanken	12
3.2.2	NoSQL Datenbanken	12
3.3	Software-Design	13
3.3.1	Daten-Schemata	13
3.3.2	Beschreibung der Software-Komponenten	15
3.3.3	Beschreibung der Schnittstellen	17
3.4	Implementierung	17
3.4.1	Klassendiagramme	17
3.4.2	Schnittstellenrealisierung	28
3.5	Ausgewählter Ansatz und Detaillösungen	31
3.5.1	Datenbasis	31
3.5.2	Datenbanken	31
3.5.3	Programmiersprache	32
4	ERGEBNISSE	33
4.1	Validierung des Gesamtkonzeptes	33
4.2	Beschreibung und Motivation der Testfälle	33
4.2.1	Testfall 1: Schlüsselwort-Fähigkeit	33
4.2.2	Testfall 2: Textsuche	33
4.2.3	Testfall 3: Verknüpfungen	34
4.2.4	Testfall 4: Matchup Analyse	34
4.2.5	Testfall 5: Top 10 Decks	34
4.3	Übersicht und Bewertung der erzielten Ergebnisse	35

4.3.1	Laufzeit . . . . .	35
4.3.2	Skalierbarkeit . . . . .	35
4.3.3	Speicherverbrauch . . . . .	36
5	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	41
5.1	Zusammenfassung . . . . .	41
5.2	Ausblick . . . . .	42
	LITERATURVERZEICHNIS	45



## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

---

Abbildung 2.1	Bestandteile einer Karten . . . . .	6
Abbildung 2.2	Einfacher Graph [3] . . . . .	9
Abbildung 3.1	Schema für relationale Datenbank . . . . .	14
Abbildung 3.2	Schema für Graph-Datenbank . . . . .	15
Abbildung 3.3	Software-Komponenten . . . . .	16
Abbildung 3.4	Klassendiagramm Builder.Builder . . . . .	18
Abbildung 3.5	Klassendiagramm Builder.Cards . . . . .	19
Abbildung 3.6	Klassendiagramm Builder.CSVHandler . . . . .	20
Abbildung 3.7	Klassendiagramm Builder.Tournaments . . . . .	20
Abbildung 3.8	Klassendiagramm Builder.Handlers.MySQLBuilder . . . . .	21
Abbildung 3.9	Klassendiagramm Builder.Handlers.Neo4jBuilder . . . . .	22
Abbildung 3.10	Klassendiagramm Foundation.Config . . . . .	23
Abbildung 3.11	Klassendiagramm Foundation.Database . . . . .	23
Abbildung 3.12	Klassendiagramm Foundation.Profiler . . . . .	24
Abbildung 3.13	Klassendiagramm Transformations.Cards . . . . .	24
Abbildung 3.14	Klassendiagramm Tests.AbstractTestCase . . . . .	26
Abbildung 3.15	Klassendiagramm Tests.Manager . . . . .	27
Abbildung 3.16	Sequenzdiagramm Fetch . . . . .	29
Abbildung 3.17	Sequenzdiagramm build . . . . .	30
Abbildung 4.1	Ausführungszeit der einzelnen Testfälle . . . . .	35
Abbildung 4.2	Skalierung Testfall 1 . . . . .	36
Abbildung 4.3	Skalierung Testfall 2 . . . . .	38
Abbildung 4.4	Skalierung Testfall 3 . . . . .	38
Abbildung 4.5	Skalierung Testfall 4 . . . . .	39
Abbildung 4.6	Skalierung Testfall 5 . . . . .	39

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

---

API	Application Programming Interface
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*)<sup>1</sup>. Aufgrund der großen Menge an Karten sind daher Applikation sinnvoll mit denen man anhand bestimmter Kriterien nach Karten suchen kann. Besonders für professionelle Turnierspieler ist eine gute Suchfunktion wichtig, um die passenden Karten für ihr Deck zu finden. Andererseits ist auch die Funktion das Deck-Analysieren zu lassen wichtig, um es optimieren zu können und somit konkurrenzfähig zu bleiben.

Das Problem hierbei ist, dass Datenbankabfragen in relationalen Datenbanken, wie MySQL, aufgrund der vielen Verknüpfungen der Attribute einer Karte, sehr schnell an Komplexität zunehmen. Daraus folgt, dass die Abfragen viele JOIN-Befehle enthalten, was sich wiederum negativ auf die Laufzeit und besonders die Skalierbarkeit auswirkt. Bei den meisten Applikation, die Suchfunktionen oder Deck- und Turnieranalysen anbieten, handelt es sich um Webapplikation, wodurch eine kurze Laufzeit sehr wichtig ist. Turniere werden nach dem Schweizer-System, einer Sonderform des Rundenturniers, gespielt, wodurch sich ein Netzwerk aus Paarungen der verschiedenen Runden ergibt. Aus diesem Grund steigt die Anzahl der gespielten Partien schnell an. Bei einem Turnier mit 50 Spielern werden 6 Runden gespielt, wovon jede Runde pro Paarung zwei bis drei Spiele gespielt werden. Bei 6 Runden und 50 Spielern ergeben sich somit zwischen 300 und 450 gespielte Partien. Daher speichern Anbieter wie <http://mtgtop8.com> oder <https://mtgdecks.net> Ergebnisse von Turnieren oftmals der Einfachheit halber nur als Rangfolge und nicht jedes Rundenergebnis. Mit letzterem Ansatz ließen sich verschiedene Analysen über die Decks und Spieler ausführen, wie zum Beispiel die Berechnung von Matchups, das heißt welche Gewinn- oder Verlustchancen ein Deck gegen ein anderes Deck hat. Diese Problematik wird auch in [9] behandelt, allerdings mit einem Schwerpunkt auf der Häufigkeit der benutzen Karten und der Synergie zwischen diesen. Unter Einbeziehung von Rundenergebnissen, welche aber nicht zur

---

<sup>1</sup> Basierend auf <http://mtgjson.com>

Verfügung standen, könnte die Stärke eines Decks noch besser eingeschätzt werden [9].

Graph-Datenbanken haben in den letzten paar Jahren viel an Bedeutung gewonnen, da sie einen einfachen Vorteil gegenüber herkömmlichen relationalen Datenbank haben [1]. Bei Graph-Datenbanken dreht sich alles um die Verbindungen zwischen Datenpunkten und auch bei wachsenden Datensätzen bleibt die Performance relativ konstant [19]. In [10, 15, 22] wird Neo4j mit Graph-Datenbanken verglichen. Sowohl [22] als auch [10] kamen zu dem Ergebnis, dass beide Systeme eine gute Performanz hatten und bei nur einer Beziehung die Laufzeit fast gleich war. Außerdem hat sich gezeigt, dass falls in der Abfrage mehrere Beziehungen beteiligt oder verschachtelte Abfragen enthalten sind, die Graph-Datenbank eine geringere Laufzeit hatte [10]. Der Ansatz einer Graph-Datenbank scheint daher geeignet für Kartenspiele und Turniere, welche viele Verknüpfungen aufweisen oder ein großes Wachstum an Daten haben, so dass diese näher zu betrachten ist.

Um die relationale Datenbank mit der Graph-Datenbank vergleichen zu können, werden als Basis die Informationen zu allen erschienen Karten und Editionen benötigt. Das Softwarepaket *mtgjson*<sup>2</sup> ist ein open-source Datensatz aller Kartendaten und Editionen. Dieser stellt eine Art Standard dar, welcher unter anderem auch in [7, 17, 18] benutzt wird, so dass er auch hier zum Einsatz kommen soll.

Die Daten für Decks wurden von der Seite <http://mtgtop8.com>, welche Decks von Turnieren der ganzen Welt veröffentlicht, entnommen. MtGTop8 ist einer der größten Anbieter mit über 75.000 Decks und wurde auch von Pawlicki et. al. benutzt um Preisvorhersagen über Karten zu machen [17]. Jedoch bietet MtGTop8 weder eine herunterladbare Liste der Decks noch ein öffentliches Application Programming Interface (API) an. Leider kann MtGTop8 nicht benutzt werden um auch als Datenbasis für Turniere zu dienen, da hier wie bei praktisch allen großen Anbieter nur die Endergebnisse veröffentlicht werden und die einzelnen Rundenergebnisse nicht vorhanden sind. Aus diesem Grund müssen simulierte Turniere als Datenbasis verwendet werden.

Online-Shops benötigen oft nur einen Bruchteil der Informationen, die sich auf einer Karte befinden und speichern diese in einer relationalen Datenbank in ein bis drei Tabellen [11]. Gerade für kleinere Online-Shops eignet sich dieser Ansatz, da hierbei der Wartungsaufwand gering gehalten wird [11] und die Abfragen nicht viele JOIN Befehle enthalten und damit performant sind. Karten-Suchmaschinen erfordern aber, dass alle Attribute einer Karte gespeichert werden, damit nach jedem Attribut gesucht (*auch kombiniert*) gesucht werden kann. Daher ist es erforderlich, dass alle Informationen einer Karte effizient gespeichert und verwaltet werden und außerdem Suchanfragen in Echtzeit beantwortet werden können.

Wie schon erwähnt speichern bisher die großen Anbieter von Turnier- und Deck-Daten lediglich die Endplatzierungen der Decks und Spieler. Dieser Ansatz macht es aber praktisch unmöglich Deck-Analysen zu erstellen, da

---

<sup>2</sup> <http://mtgjson.com>

es hierfür erforderlich ist die einzelnen Spiele-Paarungen und Rundenergebnisse zu betrachten. Daher werden in diesem Ansatz nicht die Endergebnisse der Turniere sondern jedes Ergebnis jeder gespielten Partie gespeichert, sodass es möglich ist Decks und ihre Stärken und Schwächen besser zu analysieren.



## 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 [14].

### 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* [14]. 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 [14].

#### 2.1.1 Bestandteile einer Karte

**KARTENNAME** Jede Karte hat einen eindeutigen Namen [14].

**Typ** Jede Karte hat einen bestimmten Typ. Außerdem kann eine Karte zusätzlich noch einen *Subtyp*/*Untertyp* oder *Supertyp* haben [14]. Zum Beispiel: Der *Shivan Dragon* in **Abbildung 2.1** hat den Typ *Kreatur* und als Untertyp *Drache*.

**REGELTEXT** Enthält die *Fähigkeiten* einer Karte, sofern vorhanden [14].

**FLAVOR-TEXT** Enthält Informationen über den Welt von **MtG** und hat keinerlei Auswirkungen auf das Spielgeschehen [14].

**SAMMLERNUMMER** Hilft dabei die Karten einer Edition zu sortieren/organisieren [14].

**KÜNSTLER** Der Künstler von dem das Bild für die Karte stammt [14].

**STÄRKE UND WIDERSTANDSKRAFT** Jede *Kreatur* hat einen Wert für Stärke und Widerstandskraft. Die erste Zahl gibt die Stärke an und die zweite die Widerstandskraft [14].

**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 [14].



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 [14].

### 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 [14].

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 [14].

**STATISCHE FÄHIGKEITEN** heißen so, da sie, solange sich die Karte im Spiel befindet, sich nicht verändern und konstant aktiv ist [14].

**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* [14].

**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 [14].



**SCHLÜSSELWORTE** Fähigkeiten, die auf ein einzelnes Wort oder Satz gekürzt sind und eventuell einen Erinnerungstext haben, heißen *Schlüsselwort-Fähigkeiten* [14]. Meistens handelt es sich um *statische Fähigkeiten*, aber *ausgelöste* und *aktivierte Fähigkeiten* sind auch möglich [14].

## 2.2 AUFBAU EINES DECKS

Ein Deck muss aus mindestens 60 Karten bestehen, wobei nach oben hin keine Grenzen gesetzt sind [14]. 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 [14]. Daraus ergeben sich folgende Richtlinien:

- Ein Deck sollte zwischen 35% und 40% aus Ländern bestehen [4]
- Ein Deck sollte zwischen 25% und 40% aus Kreaturen bestehen. Dabei sollte beachtet werden, dass die Mana-Kosten gut verteilt sind [4]
- Rest: Alles was nicht Land oder Kreatur ist und das Deck unterstützt [4]

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 [4].

### 2.2.1 Deck-Typen

Durch die große Menge an Karten und die goldene Regel (*falls eine Karte dem Regelbuch widerspricht, hat die Karte Vorrang*) 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 [4]. Decks die eine ähnliche Strategie haben oder gleich aufgebaut sind, werden unter einem Deck-Typ zusammengefasst [9]. Besonders starke Deck-Typen entstehen häufig durch die Analyse der einzelnen Karten und den Ergebnissen eines Decks in Turnieren [9]. 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 [4]. Es wird durch die eigenen Kreaturen möglichst früh Druck auf den Gegner ausgeübt, um ihn so in die Verteidigung zu bringen [4]. Entscheidend für die Strategie sind eine geringe Manakurve und viele kleine Kreaturen.

Tabelle 2.1: Anzahl der Runden die ab einer Teilnehmerzahl gespielt werden [5]

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		

**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 [4]. Kontrolldecks setzen in erster Linie auf defensive Zauberkarten und wenige teure Kreaturen [4].

**MIDRANGE** Midrange-Decks sind eine Kombination aus Aggro- und Kontrolldecks. Sie sind sehr effizient und können sich an die Strategie des Gegners anpassen [4]. Anstatt sich auf eine Strategie festzulegen wechseln Midrange-Decks je nach Situation zwischen aggressiver und defensiver Spielweise [4].

**KOMBO** Kombo-Decks nutzen Synergien die aus dem Zusammenspiel mehrerer Karten ergeben [4]. Die Decks sind komplett darauf ausgerichtet, diese Synergien noch weiter zu unterstützen und dadurch die Oberhand in der Partie zu gewinnen [4]. Aufgrund der Vielzahl an Karten gibt es unendlich viele Karten-Kombinationen [4].

### 2.3 TURNIERE

Turniere werden ähnlich wie beim Schach nach dem Schweizer System gespielt. Dies ist eine Variante des Rundensystem bei der die Teilnehmer jede Runde spielen und die Paarungen sich anhand der bisherigen Spiel-Ergebnisse ergeben [20]. Dadurch wird sichergestellt, dass Spieler mit ähnlichen Ergebnissen gegeneinander antreten [20]. 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.

### 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*) [19]. Graphen lassen sich vielfältig einsetzen, vom Straßennetz bis zur Krankengeschichte von Populationen [19]. In [Abbildung 2.2](#) sieht man eine einfache Unternehmenshierarchie als Graph dargestellt.

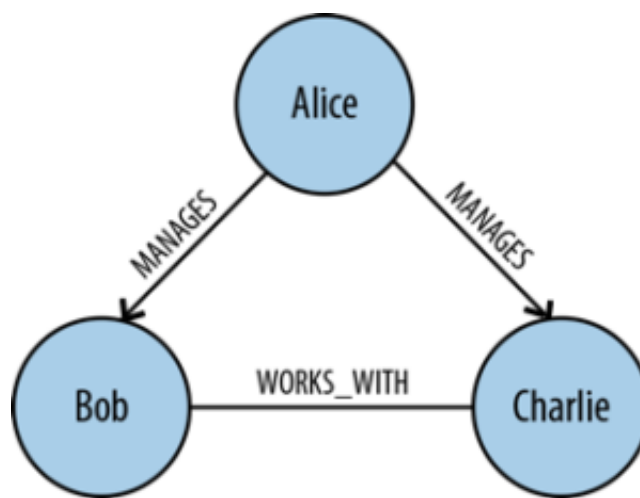


Abbildung 2.2: Einfacher Graph [3]

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 [19].

Beziehungen in Graph-Datenbanken sind, im Gegensatz zu anderen Datenbank-Systemen, sogenannte *first class citizens* [19]. Dies bedeutet, dass Objekte mit einander verbunden werden können ohne dazu Fremdschlüssel oder ähnliche Konstrukte zu verwenden [19]. Dadurch sind die Datenmodelle einfacher und ausdrucksvoller als Modelle von relationalen oder anderen Not Only SQL (**NoSQL**) Datenbanken [19].

### 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 [19]. Bei relationalen Datenbank Abfragen mit

vielen JOIN-Abfragen hingegen verschlechtert sich die Abfrageperformance bei zunehmenden Datensatz [19].

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 [19]. 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 [19].

## METHODE

---

### 3.1 ANALYSE DER ANFORDERUNGEN

#### 3.1.1 Kartensuche

Aufgrund der großen Anzahl an Karten ( $>15.000$  <sup>1</sup>) 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 dabei Karten zu wählen die der Strategie des Decks entsprechen. Bei einem Aggro-Deck kann man so im Auge behalten eine niedrige Manakurve zu haben, um nicht zu viele Karten mit hohen Kosten in das Deck aufzunehmen. 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.

---

<sup>1</sup> basierend auf [mtgjson.com](http://mtgjson.com)

### 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 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 [11]. Da ein Online-Shop nur einen Teil der Attribute einer Karte, wie Name, Seltenheit und Set, benötigt, kann das Datenbank Schema aus ein bis drei 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 JOIN-Befehlen, da diese hoch-strukturierte Daten nicht unterstützen [19]. Des Weiteren sorgen viele JOIN-Befehle in einer Abfrage dafür, dass diese schlecht skaliert. Dies ist in Neo4j nicht der Fall [19]. In Listing 1 ist beispielhaft eine komplexe Suchanfrage mit 7 benötigten JOIN-Befehlen angegeben.

### 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 [19]. Außerdem skalieren Graph-Datenbanken sehr gut, da sie immer nur auf einem Teil des Graphen agieren und nicht den ganzen Graph betrachten müssen [19]. In [10] wurde außerdem gezeigt, dass für Abfragen mit mehr als einem JOIN-Befehl oder verschachtelten Abfragen Neo4j Abfragesprache Cypher besser geeignet ist. Zu einem ähnlichen Ergebnis, dass Neo4j bei Strukturabfragen besser geeignet ist, kamen auch Vicknair et. al. in [22]. Aufgrund der vielen Attribute einer Karte und den damit verbunden Verknüpfungen erscheint Neo4j als Datenbank gut geeignet zu sein.

```

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

### 3.3 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 [21]. 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 [12]. Dieses Modell ist ein Untertyp des mathematischen Graph-Modells. Property-Graph-Modelle sind einfacher, aussagekräftiger und geben Beziehungen explizit an [12]. relationales Datenbankmanagementsystem (RDBMS) verwenden Fremdschlüssel, um Beziehungen implizit anzugeben [12]. In [Abbildung 3.2](#) befindet sich ein möglicher Ansatz für ein Schema.

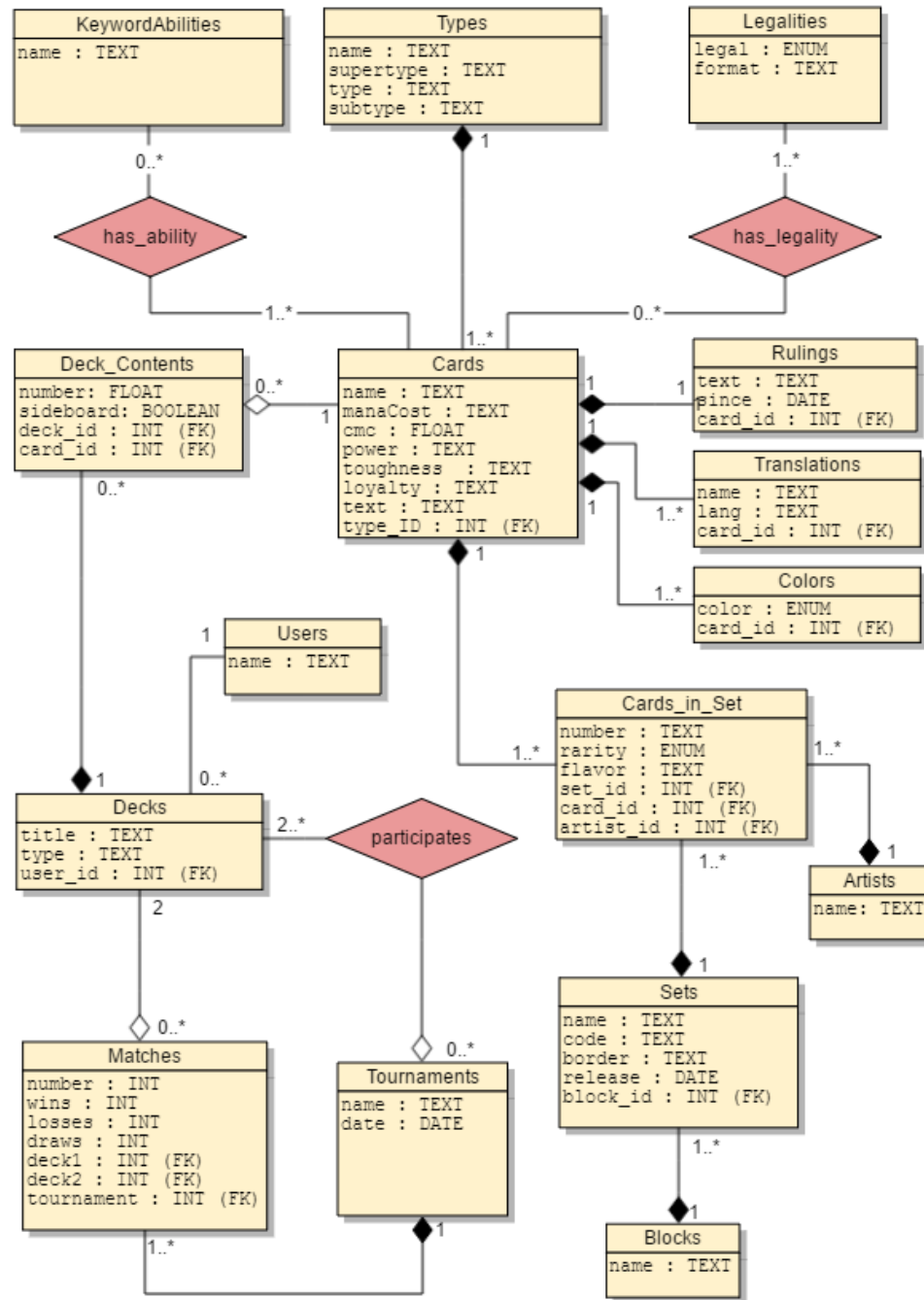


Abbildung 3.1: Schema für relationale Datenbank



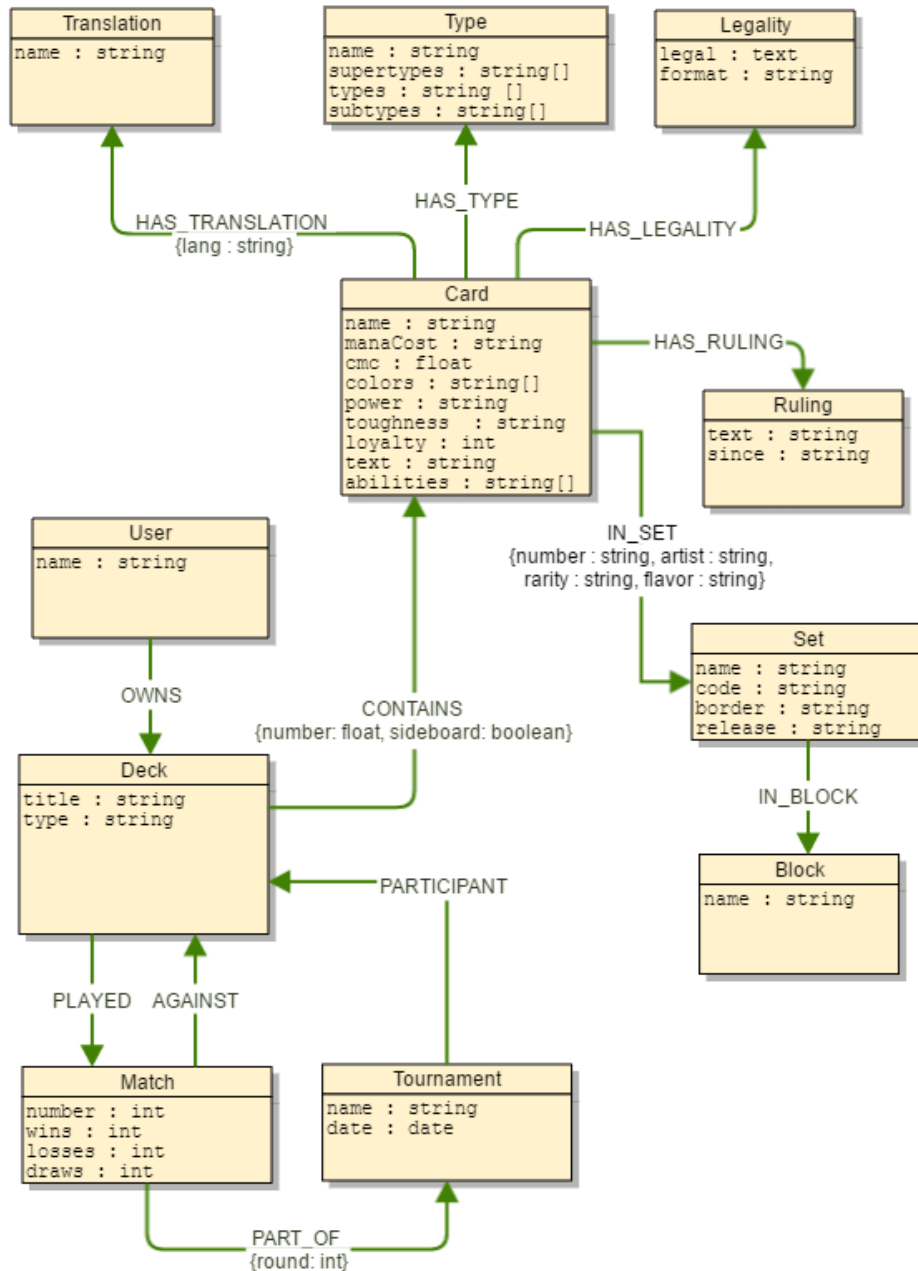


Abbildung 3.2: Schema für Graph-Datenbank

### 3.3.2 Beschreibung der Software-Komponenten

#### TESTS

Enthält die konkreten Testfälle und einen Manager um diese auszuführen

#### FOUNDATION

Enthält das Grundgerüst, welches von den meisten anderen Paketen benutzt wird

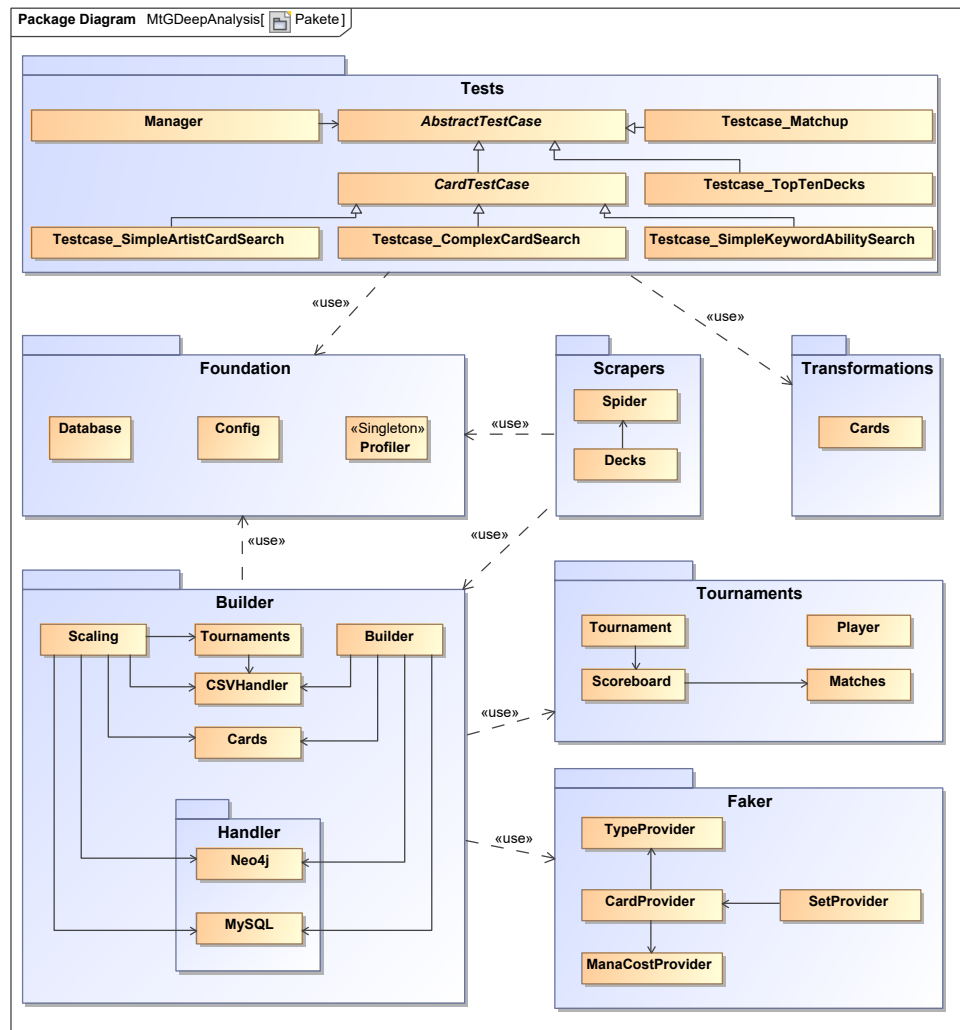


Abbildung 3.3: Software-Komponenten

**SCRAPERS**

Ist dafür zuständig Decks von [mtgtop8](http://mtgtop8.com/)<sup>2</sup> herunterzuladen, um einen Datensatz für Decks zu erstellen

**TRANSFORMATIONS**

Ist zuständig für das Transformieren von Daten in eine vorgegebene Datenstruktur

**BUILDER**

Ist zuständig für das erstellen und befüllen der Datenbanken

**BUILDER.HANDLERS**

Enthält die Implementierungen für die konkreten Datenbanken

<sup>2</sup> <http://mtgtop8.com/>

**TOURNAMENTS**

Enthält Datenstrukturen und Algorithmen um Turniere nach dem Schweizer-System zu erstellen und auszuführen

**FAKER**

Ist zuständig für die Erstellung von Dummy-Daten, um die Skalierung der Datenbanken zu testen

3.3.3 *Beschreibung der Schnittstellen**Tests*

Die Komponente `Tests` nutzt die folgenden Schnittstellen:

`FOUNDATION` wird genutzt, um ein Datenbank-Verbindungen zu erstellen und mit dem Profiler die Laufzeit und Speicherverbrauch zu messen

`TRANSFORMATIONS` wird genutzt, um die ausgelesenen Daten in eine passende Datenstruktur zu überführen

*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

*Builder*

Die Komponente `Builder` nutzt die folgenden Schnittstellen:

`FOUNDATION` wird genutzt, um ein Datenbank-Verbindungen zu erstellen

`TOURNAMENTS` wird genutzt, um Turnierdaten basierend auf den heruntergeladenen Decks zu erstellen

`FAKER` wird genutzt, um ein Dummy-Daten für die Skalierungstests zu erstellen und zu importieren

## 3.4 IMPLEMENTIERUNG

3.4.1 *Klassendiagramme*3.4.1.1 *Builder.Builder*

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

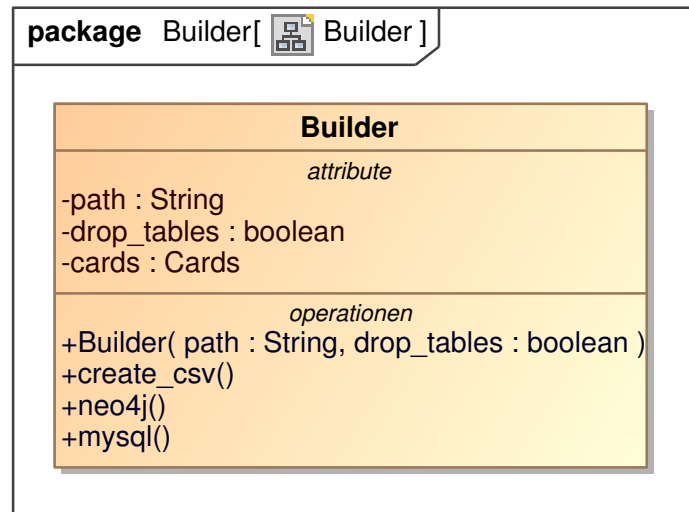


Abbildung 3.4: Klassendiagramm Builder.Builder

**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 <b>JSON</b> -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:

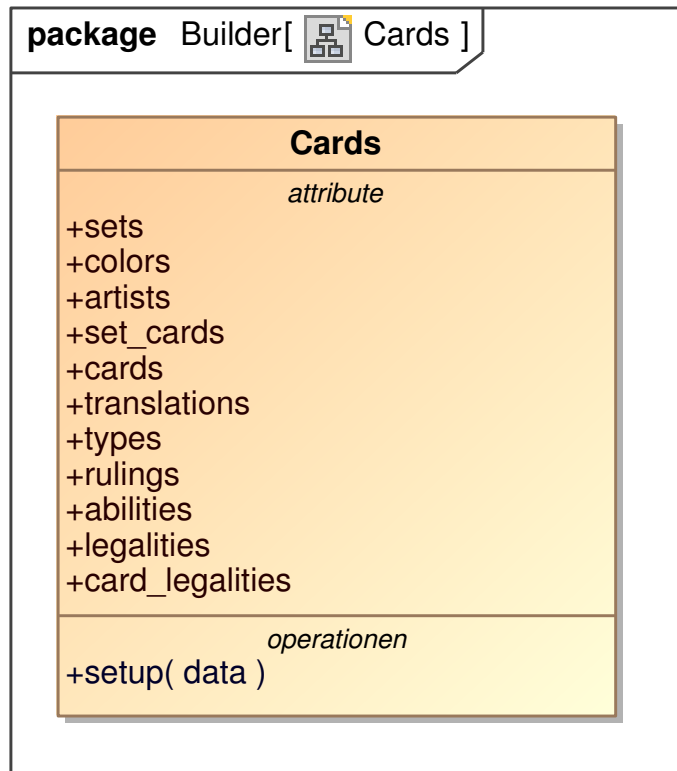


Abbildung 3.5: Klassendiagramm Builder.Cards

**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:

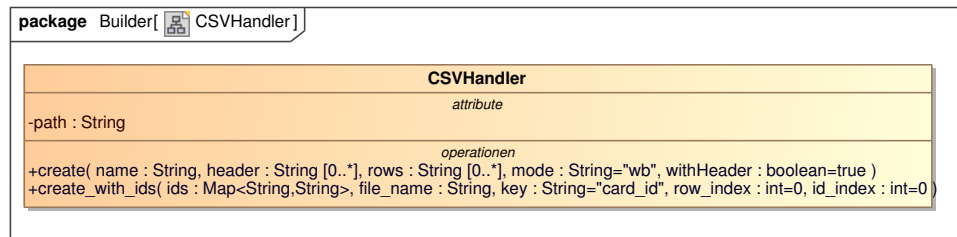


Abbildung 3.6: Klassendiagramm Builder.CSVHandler

#### 3.4.1.4 *Builder.Tournaments*

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

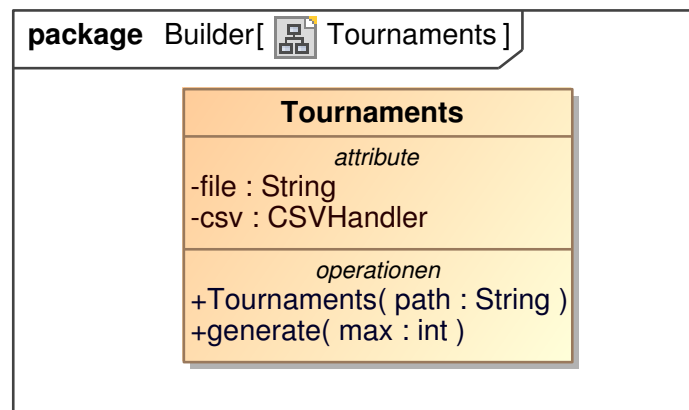


Abbildung 3.7: Klassendiagramm Builder.Tournaments

#### 3.4.1.5 *Builder.Handlers.MySQLBuilder*

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

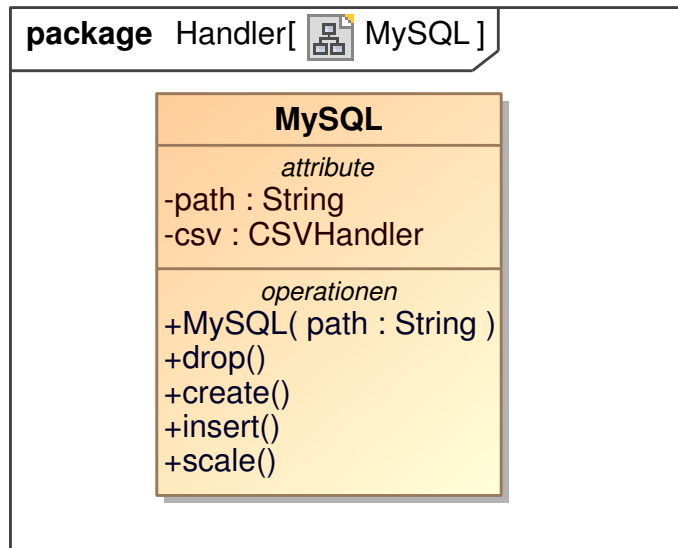


Abbildung 3.8: Klassendiagramm Builder.Handlers.MySQLBuilder

**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 <a href="#">JSON</a> und <a href="#">CSV</a> Dateien enthält

3.4.1.6 *Builder.Handlers.Neo4jBuilder*

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

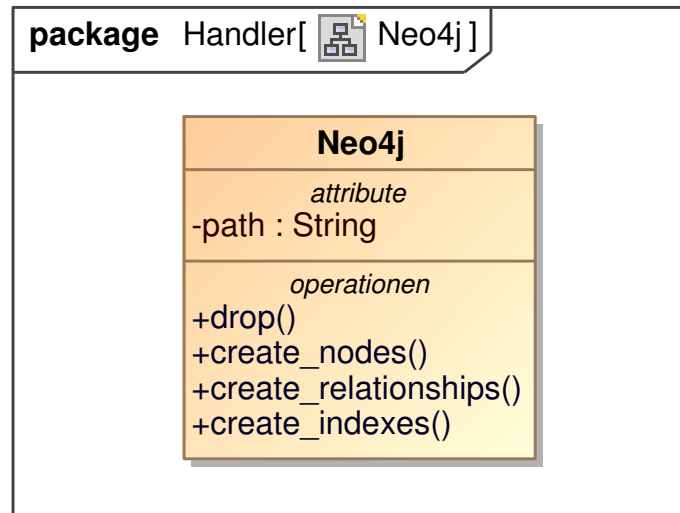


Abbildung 3.9: Klassendiagramm Builder.Handlers.Neo4jBuilder

**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 <a href="#">JSON</a> und <a href="#">CSV</a> Dateien enthält

3.4.1.7 *Foundation.Config*

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



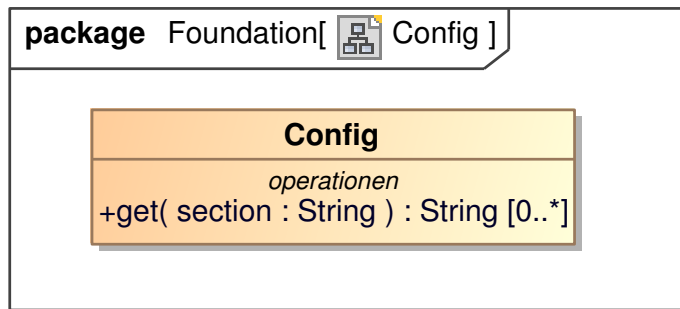


Abbildung 3.10: Klassendiagramm Foundation.Config

**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:

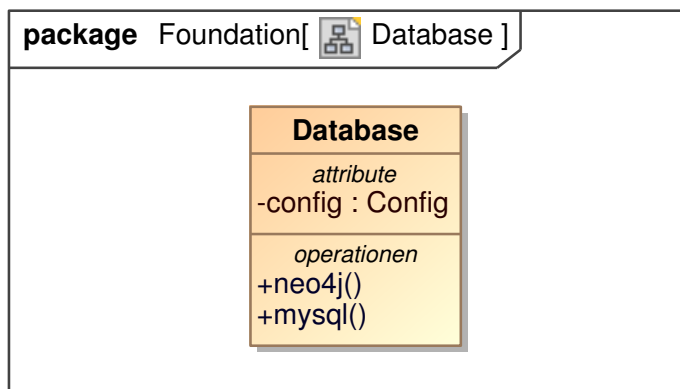


Abbildung 3.11: Klassendiagramm Foundation.Database

**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:

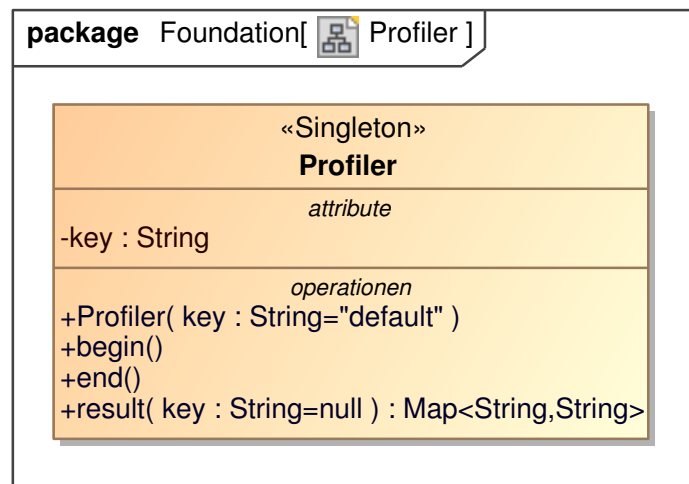


Abbildung 3.12: Klassendiagramm `Foundation.Profiler`

#### 3.4.1.10 *Transformations.Cards*

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

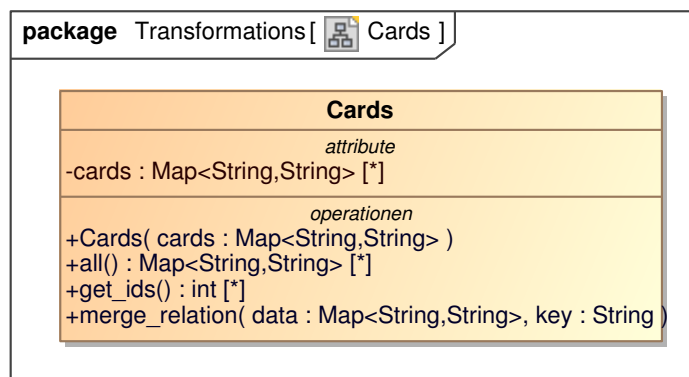


Abbildung 3.13: Klassendiagramm `Transformations.Cards`

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:

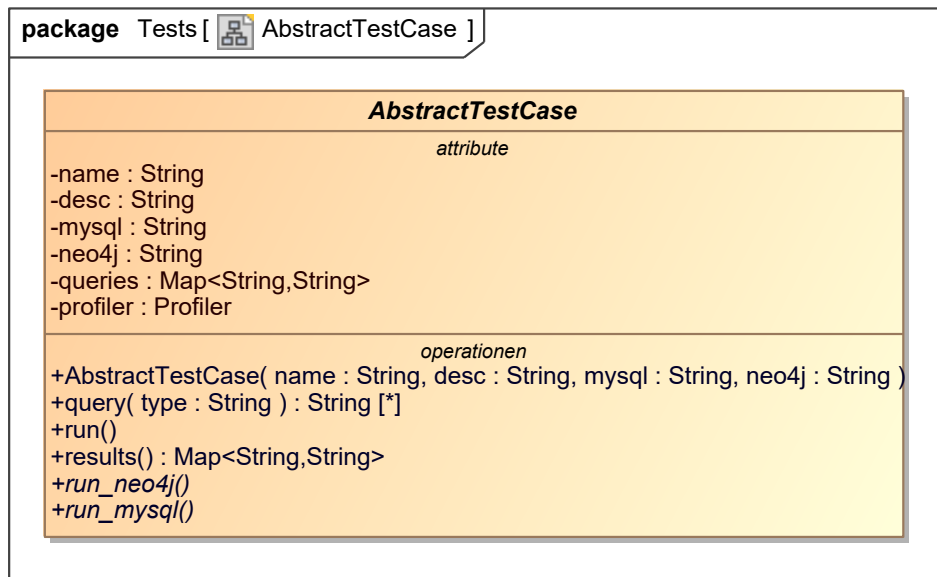


Abbildung 3.14: Klassendiagramm Tests.AbstractTestCase

**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

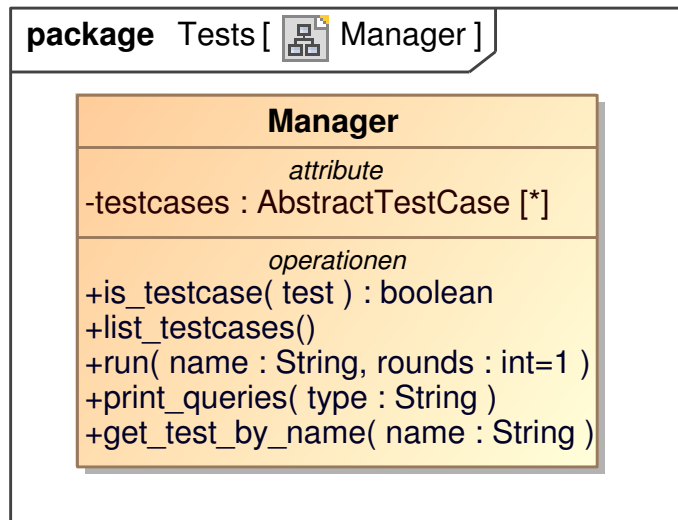


Abbildung 3.15: Klassendiagramm Tests.Manager

**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 [13]

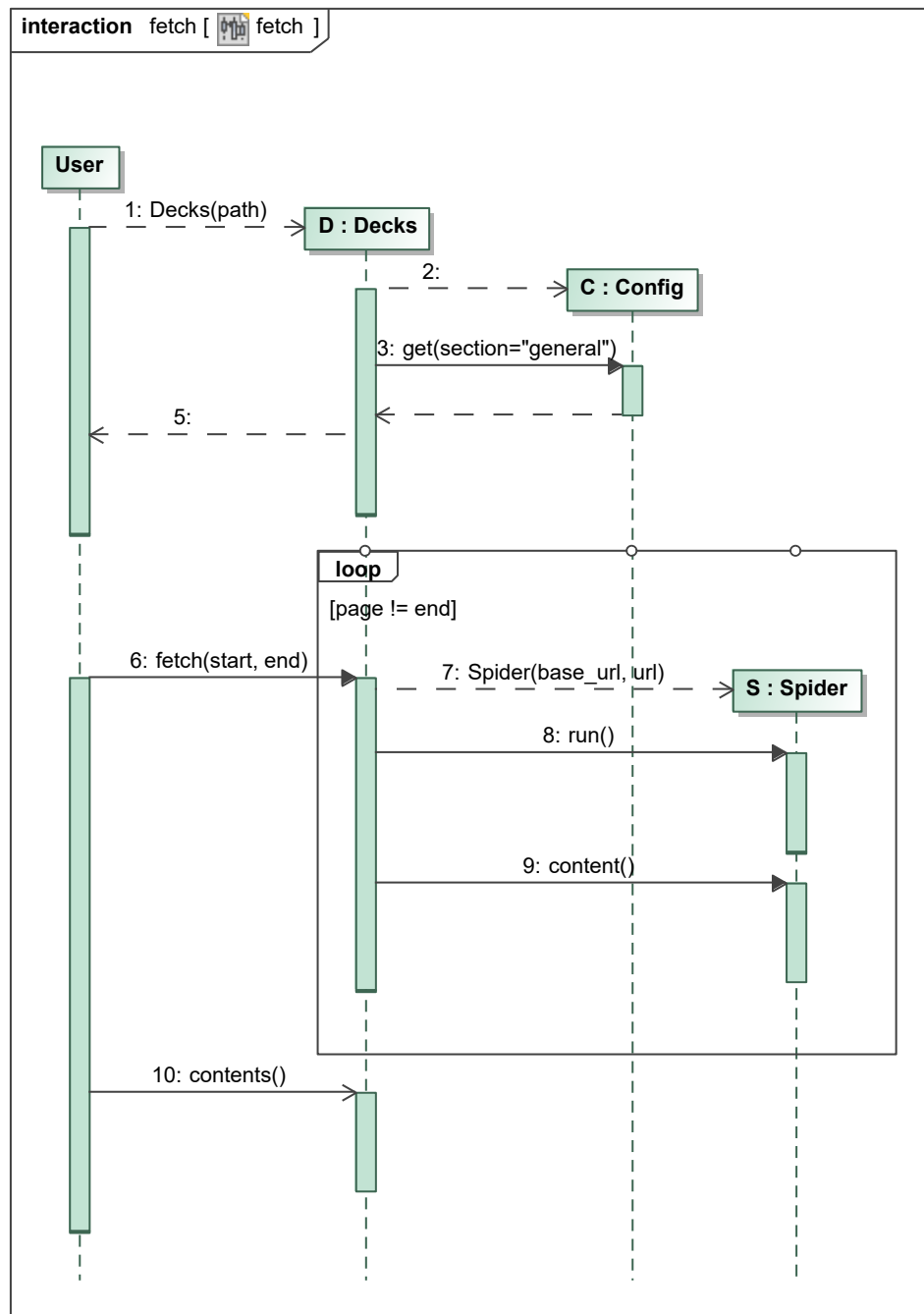


Abbildung 3.16: Sequenzdiagramm Fetch

## 3.4.2.2 Build

Build [13]

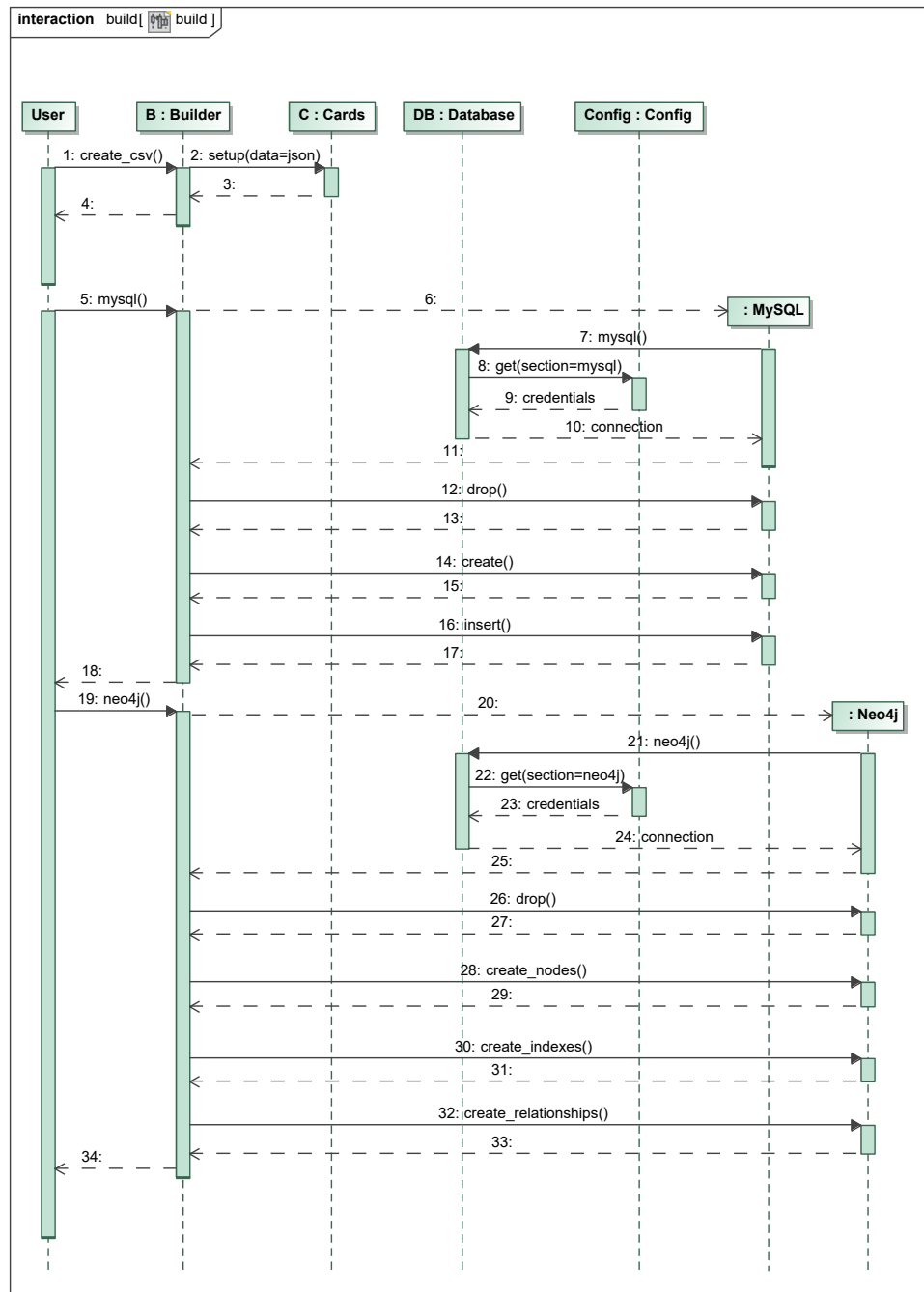


Abbildung 3.17: Sequenzdiagramm build



### 3.5 AUSGEWÄHLTER ANSATZ UND DETAILLÖSUNGEN

#### 3.5.1 Datenbasis

Als Basis der Kartendaten wird [mtgjson](http://mtgjson.com)<sup>3</sup> benutzt, welche [MtG](http://mtgtop8.com) Kartendaten als [JSON](#) bereitstellt. Die Decks hingegen werden von [mtgtop8](http://mtgtop8.com)<sup>4</sup> bezogen.

#### 3.5.2 Datenbanken

Als Graph-Datenbank wird *Neo4j* eingesetzt, da diese eine hoch skalierbare Datenbank ist, welche auf allen gängigen Betriebssystemen läuft [8]. 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. [16]

Als [RDBMS](#) wird MariaDB<sup>5</sup> eingesetzt, welche vom Urheber von MySQL entwickelt wird. MariaDB ist ein Fork von MySQL und gilt als dessen evolutionäre Nachfolger. [2]

##### 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 [Listing 2](#) befindet sich ein Kommando, um Übersetzungen nach Neo4j zu importieren und in [Listing 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

---

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

### 3.5.3    *Programmiersprache*

Als Programmiersprache wird *PyPy*<sup>6</sup>, 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. [6]

#### 3.5.3.1    *Profiling*

Mit einem *Profiler* können verschiedene Werte wie *Ausführungszeit* oder *Speicherverbrauch* gemessen werden [6]. 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-Klasse<sup>7</sup> benutzt werden. Um den Speicherverbrauch zu messen wird die Python-Bibliothek *psutil* benutzt<sup>8</sup>, da diese eine einfache und plattformübergreifende Methode bietet den Speicherverbrauch auszulesen.

---

<sup>6</sup> <http://pypy.org>

<sup>7</sup> <https://www.huynh.com/posts/python-performance-analysis>

<sup>8</sup> [http://fa.bianp.net/blog/2013/different-ways-to-get-memory-consumption-or-lessons-learned-from-memory\\_profiler/](http://fa.bianp.net/blog/2013/different-ways-to-get-memory-consumption-or-lessons-learned-from-memory_profiler/)

#### 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
Turnier: Top 10 Decks	Berechne die 10 besten Decks

#### 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.

#### 4.2.5 Testfall 5: Top 10 Decks

Für jedes Deck wird das Verhältnis zwischen den gewonnen und verlorenen Matches berechnet und dann der Größe nach sortiert und die ersten 10 Decks gewählt. Je höher der Wert ist, desto besser ist das Deck unabhängig von der

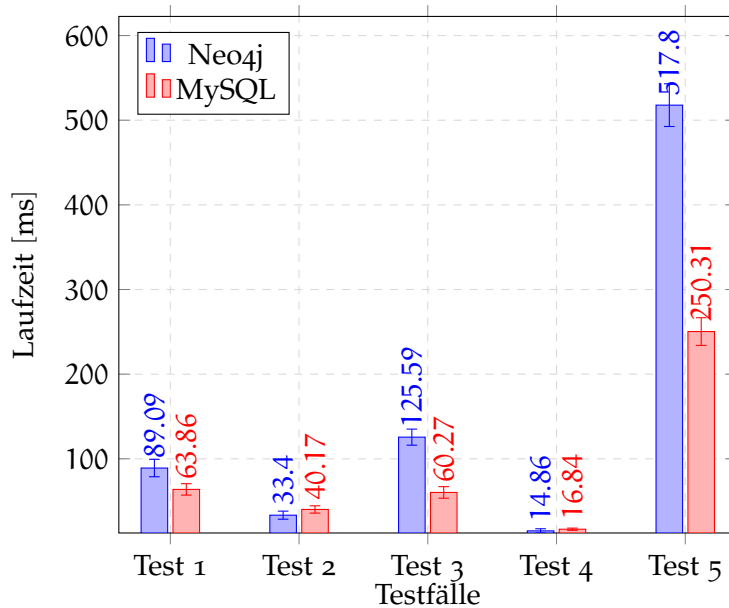


Abbildung 4.1: Ausführungszeit der einzelnen Testfälle

Anzahl der gespielten Matches. 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 dargestellt. Wie zu erwarten war Neo4j in Testfall 4 schneller als die MySQL-Abfrage mit JOINS. Überraschenderweise war Neo4j auch in Testfall 2 etwas schneller als MySQL, obwohl aufgrund der langjährigen Optimierungen der Textsuche in MySQL zu erwarten war, dass dieser schneller sei. Der Grund dafür, dass Neo4j in den Testfällen 1 und 3 langsamer ist als MySQL liegt vermutlich daran, dass als Datentyp Arrays für *color*, *abilities* und *types* benutzt wurde. Anscheinend ist in Neo4j die Suche innerhalb eines Arrays langsamer als die Suche mit einem JOIN in MySQL.

#### 4.3.2 Skalierbarkeit

Wie in [Abbildung 4.2](#) zu sehen ist, skalieren sowohl Neo4j als auch MySQL gut, aber auch hier zeigt sich, dass Neo4j in allen gemessenen Größen langsamer ist. Die Steigung ist bei beiden Datenbanken ungefähr gleich. Die Vermutung, dass die Suche in Arrays langsamer ist als mit JOINS bestätigt sich in Testfall 3. Wie in [Abbildung 4.4](#) zu sehen ist, hat die Laufzeit bei Neo4j ein lineares Wachstum, wohingegen sie bei MySQL relativ konstant bleibt: bei doppelter Menge an Karten, verdoppelt (*ungefähr*) sich die Laufzeit in Neo4j.

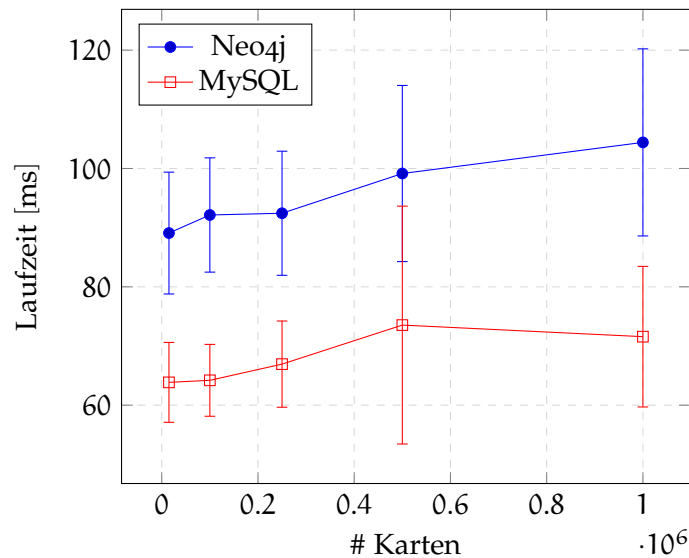


Abbildung 4.2: Skalierung Testfall 1

Es bietet sich an zu überprüfen, ob mit einem anderen Schema, welches auf Arrays verzichtet, Neo4j eine bessere Laufzeit und Skalierbarkeit hat.

In Testfall 2 bestätigt sich, dass MySQL bei der Textsuche optimierter ist als Neo4j, auch wenn Neo4j mit dem normalen Datensatz ein wenig schneller ist. In [Abbildung 4.3](#) ist zu sehen, dass sich auch hier mit Verdopplung der Karten die Laufzeit der Neo4j-Abfrage um den Faktor 1.5 - 2 steigt, wohingegen die Laufzeit bei MySQL nur um 5% - 10% pro gemessenem Punkt steigt. MySQL ist also wie erwartet besser für Textsuchen geeignet als Neo4j.

In [Abbildung 4.5](#) zeigt sich, dass die Laufzeit der MySQL-Abfrage für Testfall 4 ein exponentielles Wachstum hat. Bei der Neo4j Abfrage hingegen steigt die Laufzeit linear, das heißt für Turnier/Matchup-Analysen ist Neo4j besser geeignet als MySQL. Allerdings gilt dies nicht für Testfall 5, denn [Abbildung 4.6](#) zeigt, dass hier Neo4j langsamer ist als MySQL. Sowohl MySQL als auch Neo4j haben ein lineares Wachstum, auch wenn es bei Neo4j nach einem beschränkten Wachstum aussieht. Ein beschränktes Wachstum erscheint aber für die Laufzeit nicht sinnvoll. Des Weiteren hat Neo4j ein stärkeres Wachstum als MySQL. Die Tatsache, dass beide Datenbanken bei den Abfragen deutlich langsamer sind, ist in diesem Testfall vernachlässigbar. Es ist ausreichend die besten Decks nur einmal am Tag oder wenn ein neues Turnier hinzugefügt wurde zu berechnen und das Ergebnis zu speichern: wenn kein neues Turnier hinzugefügt wird, ändert sich auch nicht die Top 10 Liste. Aus diesem Grund muss die Abfrage nicht in Echtzeit geschehen sondern kann durchaus einige Sekunden in Anspruch nehmen.

#### 4.3.3 Speicherverbrauch

Der gemessene Speicherverbrauch in MByte unterscheidet sich zwischen MySQL und Neo4j faktisch nicht, das heißt er beträgt weniger als 0.1%. Des Weiteren bleibt dieser auch bei der Skalierung der Datenbank relativ kon-

stant mit  $\pm 1\text{MByte}$  Abweichung. Aus diesem Grund wird hier nicht weiter auf den Speicherverbrauch eingegangen.

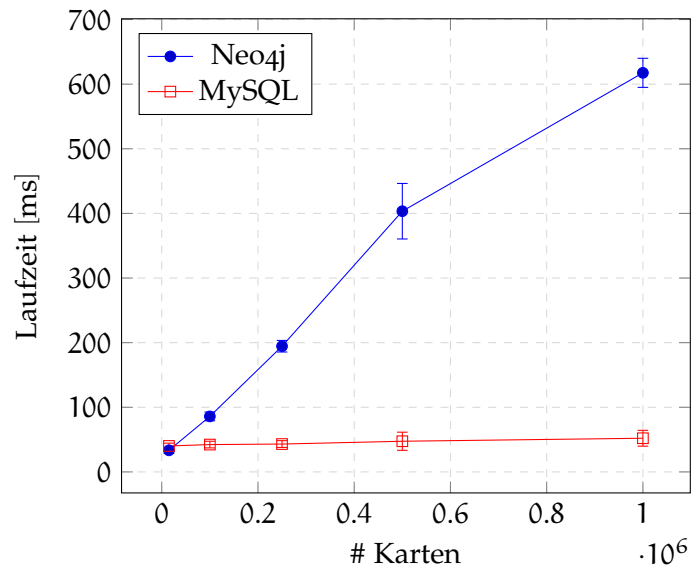


Abbildung 4.3: Skalierung Testfall 2

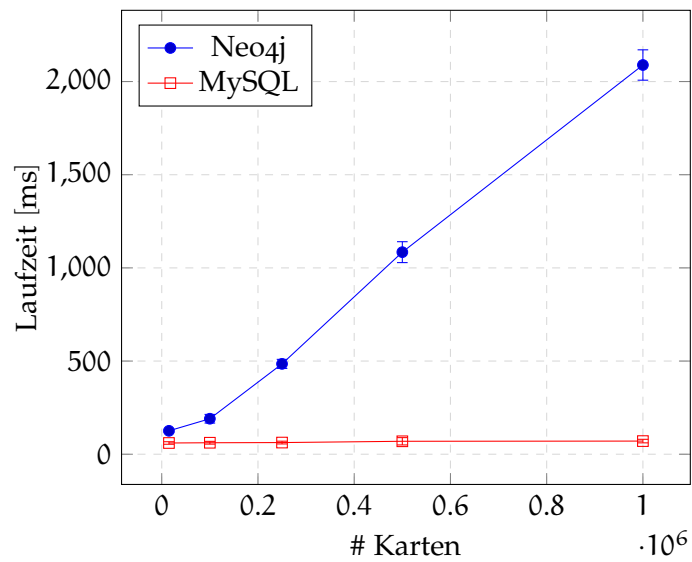


Abbildung 4.4: Skalierung Testfall 3



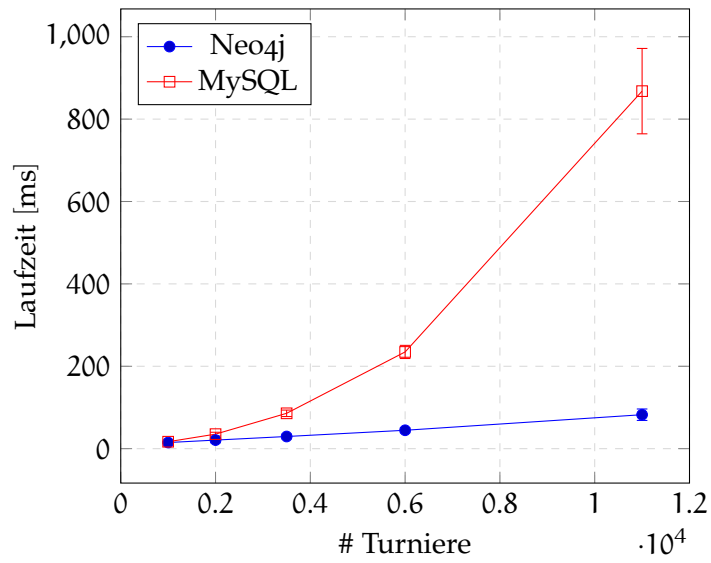


Abbildung 4.5: Skalierung Testfall 4

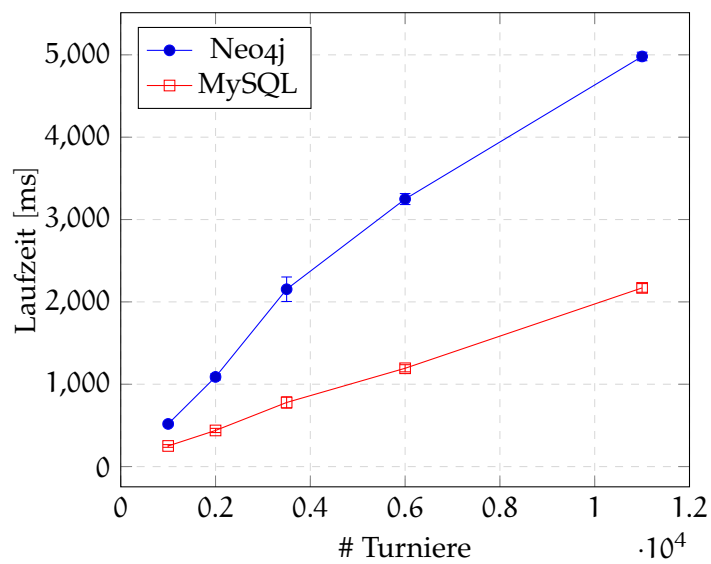


Abbildung 4.6: Skalierung Testfall 5



## ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

---

### 5.1 ZUSAMMENFASSUNG

Die anfängliche Vermutung, dass eine Graphdatenbank besser für die Matchup Analyse eines Decks geeignet ist, hat sich, wie im Testfall 4 zu sehen, bestätigt. Bei der ursprünglichen Datenmenge von 1000 Turnieren unterschied sich die Laufzeit bei beiden Systemen nur minimal. Bei der Skalierung aber wies die Laufzeit der Neo4j Abfragen nur ein leichtes lineares Wachstum auf, wohingegen die Laufzeit bei MySQL ein exponentielles Wachstum hatte.

Bei der Berechnung der Top 10 Decks war eigentlich davon auszugehen, dass hier die Graphdatenbank wieder besser abschneiden würde. Der Grund für die Vermutung war, dass hier wieder Matchups berechnet werden müssen und dies bei dem vorherigen Testfall für die Matchup Analyse der Fall war. Allerdings ergab sich in diesem Testfall, dass Neo4j eine längere Laufzeit hatte als MySQL. Beide Datenbanksysteme hatten in diesem Fall ein lineares Wachstum, aber bei Neo4j war die Steigung größer als bei MySQL. Ein Grund für das unerwartete Ergebnis könnte sein, dass die genutzte cypher Abfrage nicht die beste war und es noch einen besseren Weg gibt.

Wie zu erwarten war, skalierte die Textsuche mittels LIKE bei MySQL besser als das äquivalent CONTAINS bei Neo4j. Während die Laufzeit bei MySQL kaum bis gar nicht stieg, stieg sie pro gemessenem Punkt in Neo4j um den Faktor 1.5 bis 2.0 - hatte also ein starkes lineares Wachstum. Was allerdings unerwartet war, war das Neo4j beim ursprünglichen Datensatz sogar leicht schneller war als die MySQL Textsuche.

Bei Testfall 3, wo es um Abfragen mit vielen Verknüpfungen ging, kam es zu zwei unerwarteten Ergebnissen. Eigentlich war davon auszugehen, dass Neo4j hier sehr gut skaliert wohingegen MySQL, aufgrund der vielen JOINS, bei der Skalierung einen großen Wachstumsfaktor in der Laufzeit aufweisen würde. Nichtsdestotrotz trat genau der entgegengesetzte Fall ein: Die Laufzeit bei MySQL blieb relativ konstant ungeachtet der Anzahl an Karten und Neo4j skalierte schlecht und war in jedem Messpunkt langsamer als MySQL. Ein möglicher Grund könnte sein, dass in dem gewählten Graph-Schema die Karten-Typen, Fähigkeiten und Farben als Array gespeichert wurden. Dadurch wurden zwar zwei Abfragen weniger gebraucht als bei MySQL, aber anscheinend war dies der Grund für die schlechte Skalierung von Neo4j.

In dem Test mit den Schlüsselwort-Fähigkeiten skalierten beide Datenbanksysteme ungefähr gleich gut. Dies lag vermutlich daran, dass die Anzahl der Fähigkeiten sich bei der Skalierung nicht änderte. Des Weiteren war aber auch hier Neo4j langsamer als MySQL was vermutlich wie bei dem vorherigen Testfall mit den Verknüpfungen. Der Grund dafür liegt vermutlich

an der Tatsache, dass für Fähigkeiten Arrays benutzt wurden, denn dies ist den beiden Testfällen gemein.

Es hat sich also gezeigt, dass Neo4j entgegen der anfänglichen Annahmen nicht in allen Punkten besser war als eine relationale Datenbank wie MySQL, um Sammelkarten effizient zu speichern und analysieren. Die einzige Ausnahme war im Testfall der Matchup Analyse, hier lag Neo4j deutlich vor MySQL was die Skalierbarkeit anbelangt. Für Kartenspiele, deren Turniere nach dem Schweizer System ablaufen, eignet sich also Neo4j eher als MySQL. Insgesamt waren aber die Abfragen mit cypher sowohl kürzer als auch lesbarer als die entsprechenden Abfragen in SQL, was ein Vorteil von Neo4j ist. Entgegengesetzt der anfänglichen Annahme unterschied sich auch der Speicherverbrauch der beiden Systeme nur um maximal 0.1% und war somit irrelevant.

## 5.2 AUSBLICK

Wie zuvor schon erwähnt tauchten bei Neo4j unerwartete Ergebnisse in Zusammenhang mit der Benutzung von Arrays auf. Weiterführend bietet sich also an andere Daten-Schemata zu verwenden, welche keine Arrays nutzen, und zu überprüfen, ob Arrays der Grund für die schlechte Performance sind. Es bietet sich weiterhin an dabei zu untersuchen, wie groß der Einfluss bei den einzelnen Attributen ist. Aufgrund der Tatsache, dass hier 3 weitere Schemata (*für colors, abilities und types*) getestet werden müssten, konnte dies aus zeitlichen Gründen nicht untersucht werden.

Es wäre interessant zu untersuchen, warum die cypher Abfrage in Top 10 Decks Testfall langsamer ist als die MySQL Abfrage und auch schlechter skaliert. Ein möglicher Grund könnte sein, dass die Abfrage nicht optimal ist, was sehr wahrscheinlich ist, und es einen besseren Weg gibt die Abfrage zu schreiben. Ein weiterer Grund könnte sein, dass das gewählte Graph-Schema für diese Art von Abfragen nicht geeignet ist und ein anderes besser geeignet wäre. Sofern man das Schema ändert, muss außerdem der Testfall 4 (*Matchup-Analyse*) erneut getestet werden, da es sein könnte, da sich hier die Laufzeiten ebenfalls positiv oder negativ ändern können. Die Abfrage-optimierung ist jedoch ein kompliziertes Thema und erfordert oft einiges an Erfahrung mit der Sprache. Aus zeitlichen Gründen und fehlender Erfahrung war es daher nicht möglich, die Abfrage zu optimieren oder ein anderes Schema zu testen.

Ein weiterer möglicher Testfall wäre jener, der sich auf die Deck-Analyse beziehen, zum Beispiel die Verteilung der verschiedenen Karten-Typen oder Farben in einem Deck angeben. Des Weiteren könnte untersucht werden wie gut die beiden Datenbanken sind, wenn nach den meist verwendeten Karten, gruppiert nach Farben, welche in Decks verwendet werden, gesucht wird. Bei diesem Testfall würden sowohl der Turnier als auch der Karten Teil aus der Datenbank zusammen abgefragt werden, was bei den anderen Testfällen nicht der Fall war. Jedoch war nicht genügend Zeit, um diese und andere Testfälle zu untersuchen.

In dieser Arbeit wurde lediglich das TCG Magic: the Gathering getestet. MtG ist aber nicht das einzige sondern nur mit das älteste und daher umfangreichste TCG. Bei anderen Kartenspielen können die Karten durchaus weniger komplex sein und damit weniger Verknüpfungen haben. Folglich würde sich in einer späteren Arbeit anbieten zu untersuchen, ob die Ergebnisse auch mit anderen Kartenspielen wie Pokemon, Yu-Gi-Oh! oder Hearthstone reproduzierbar sind.



## LITERATURVERZEICHNIS

---

- [1] Tony Agresta. *The Hype Around Graph Databases And Why It Matters*. 2016. URL: <http://www.forbes.com/sites/ciocentral/2015/04/06/the-hype-around-graph-databases-and-why-it-matters>.
- [2] D. Bartholomew. *Getting Started with MariaDB*. Community experience distilled. Packt Publishing, 2013. ISBN: 9781782168102.
- [3] Joy Chao. *Graph Databases for Beginners: Graph Theory & Predictive Modeling*. 2016. URL: <https://neo4j.com/blog/graph-theory-predictive-modeling>.
- [4] Wizards of the Coast. *Spielinfos/Gameplay Stelle Dein Eigenes Magic-Deck Zusammen*. 2016. URL: <http://magic.wizards.com/de/gameplay/how-to-build-a-deck>.
- [5] Wizards of the Coast. *What are Swiss Pairings?* 2016. URL: <http://magic.wizards.com/en/game-info/products/magic-online/swiss-pairings>.
- [6] F. Doglio. *Mastering Python High Performance*. Packt Publishing, 2015. ISBN: 9781783989317.
- [7] Dustin Fink, Benjamin Pastel und Neil Sapra. *Predicting the Strength of Magic: The Gathering Cards From Card Mechanics*. CS 229 Machine Learning Final Projects. Stanford University, 2015.
- [8] A. Goel. *Neo4j Cookbook*. Quick answers to common problems. Packt Publishing, 2015. ISBN: 9781783287260.
- [9] Roger Hau, Evan Plotkin und Hung Tran. *Magic: The Gathering Deck Performance Prediction*. Techn. Ber. Stanford University.
- [10] Garima Jaiswal und Arun Prakash Agrawal. "Comparative Analysis of Relational and Graph Databases". In: *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)* (2013).
- [11] 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.
- [12] M. Lal. *Neo4j Graph Data Modeling*. Packt Publishing, 2015. ISBN: 9781784397302.
- [13] *MTGTOP8 - netdecking with the stars*. URL: <http://mtgtop8.com>.
- [14] Del Laugel Matt Tabak und Kelly Digges. *Magic: the Gathering Basic Rulebook 2013*, S. 4–7.
- [15] Justin J Miller. "Graph Database Applications and Concepts with Neo4j". In: *Proceedings of the Southern Association for Information Systems Conference, Atlanta, GA, USA*. Bd. 2324. 2013.

- [16] Onofrio Panzarino. *Learning Cypher*. Packt Publishing, 2014. ISBN: 1783287756, 9781783287758.
- [17] Matthew Pawlicki, Joseph Polin und Jesse Zhang. *Prediction of Price Increase for Magic: The Gathering Cards*. CS 229 Machine Learning Final Projects. Stanford University, 2014.
- [18] Boris A Perkhounkov, Cooper Gates Frye und Emily Margaret Franklin. *Financial Magic*. CS 229 Machine Learning Final Projects. Stanford University, 2015.
- [19] I. Robinson, J. Webber und E. Eifrem. *Graph Databases: New Opportunities for Connected Data*. O'Reilly Media, 2015. ISBN: 9781491930861.
- [20] StarCityGames.com. *What is a Swiss-style Tournament?* 2016. URL: <http://sales.starcitygames.com/FAQ.php?ID=92>.
- [21] 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.
- [22] 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.