



Bachelorarbeit Informatik

Machbarkeitsanalyse für eine ressourcenorientierte Schnittstelle zur Verarbeitung grundlegender Probleme der Informatik

| | |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Autor | Raffael Santschi santsraf@students.zhaw.ch Student im 8. Semester |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------|

| | |
|-----------------------|--------------------------------|
| Hauptbetreuung | Alain M. Lafon lafo@zhaw.ch |
|-----------------------|--------------------------------|

| | |
|----------------|------------------------------------------|
| Experte | Silvan Spross silvan.spross@gmail.com |
|----------------|------------------------------------------|

| | |
|--------------------|------------|
| Abgabedatum | 23.07.2015 |
|--------------------|------------|

Abstract

Bei einigen Problemen der Informatik werden Approximierungsalgorithmen verwendet, um eine Lösung in nützlicher Frist zu erhalten. Ziel dieser Arbeit ist eine Machbarkeitanalyse für eine generische Schnittstelle zur Lösung solcher Probleme. Die Schnittstelle sollte keinerlei Kenntnisse der theoretischen Informatik oder der jeweiligen Probleme voraussetzen. Dazu wurden fünf Probleme mit hoher Laufzeitkomplexität ausgewählt, welche nicht nur von wissenschaftlich Interesse sind. Die Problemfelder wurden auf ihre Ein- und Ausgabeparameter analysiert und die dazugehörigen Algorithmen betrachtet. Im späteren Verlauf der Arbeit wurde ein sechstes Problem dazugenommen, welches eine leichte Abwandlung eines bereits ausgewählten Problems ist. Damit konnte geprüft werden, ob sich die Implementierung der beiden Probleme generischer umsetzen lässt als bei den anderen Problemen.

Beim Erstellen des Konzepts wurden die Gemeinsamkeiten des Berechnungsablaufs betrachtet. Um mehr Freiheiten bei der Implementierung zu haben und eine grosse Benutzerfreundlichkeit zu garantieren, wurde die Nutzer- und Algorithmus-Domäne voneinander entkoppelt. Dies bot die Möglichkeit, jeweils eine andere Domänensprache zu verwenden. Zwischen den beiden Domänen kamen pre- und post-Aktionen zum Einsatz, welche die Datenaufbereitung für den Algorithmus beziehungsweise den Nutzer durchführten.

Vor der Umsetzung wurde eine Nutzwertanalyse zur Auswahl eines geeigneten Datenbanksystems durchgeführt. Nach einer Vorselektierung standen eine relationale, eine objektorientierte und eine dokumentorientierte Datenbank zur Auswahl. Beim Vergleich wies das dokumentorientierte Datenbanksystem mit seiner Flexibilität einen grossen Vorteil auf. Diese Flexibilität ermöglichte eine schnelle und unkomplizierte Implementierung und bietet dies auch für kommende Erweiterung.

Als Prototyp wurde ein REST API implementiert, welches die Funktionalität zur Berechnung der sechs vorher definierten Probleme bereitstellt. Hinter einem dieser Probleme wurde ein Algorithmus implementiert, womit der ganze Prozess getestet werden konnte. Bei den anderen Problemen wurde anhand der Recherche Ein- und Ausgabeschemata der Algorithmen definiert.

Das Konzept für die Schnittstelle konnte für alle sechs Probleme angewandt und der Ablauf konnte generisch gehalten werden. Das Auswahlverfahren der Probleme hat sich bewährt, die Probleme zeigen unterschiedliche Ausprägungen in ihren Parametern und Lösungsweise. Einige Probleme können mit dem gleichen generischen Algorithmus gelöst werden. Zwei der Probleme, welche beide aus dem Bereich „Netzwerk Design“ stammen, benötigen sehr unterschiedliche Herangehensweisen. Die Schnittstelle bietet genug Flexibilität, um ganz unterschiedliche Probleme zu behandeln und verschiedene Algorithmen anzusteuern. Die Machbarkeitsstudie ist als erfolgreich zu betrachten.

Bestätigung der Selbstständigkeit

Hiermit bestätigt die oder der Unterzeichnende, dass die Bachelorarbeit mit dem Thema „**Machbarkeitsanalyse für eine ressourcenorientierte Schnittstelle zur Verarbeitung grundlegender Probleme der Informatik**“ gemäss freigegebener Aufgabenstellung mit Freigabe vom 21. Januar 2015 ohne jede fremde Hilfe im Rahmen der gültigen Reglements selbstständig ausgeführt wurde.

.....
Raffael Santschi

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Problemabgrenzung | 6 |
| 1.1 | Ausgangslage | 6 |
| 1.2 | Ziele der Arbeit | 6 |
| 1.3 | Aufgabenstellung | 6 |
| 1.4 | Erwartete Resultate | 7 |
| 1.5 | Nicht-Ziele | 7 |
| 1.6 | Dokumentstruktur | 7 |
| 2 | Projektplanung | 8 |
| 2.1 | Meilensteine | 8 |
| 2.2 | Arbeitspakete | 8 |
| 2.2.1 | Planung | 8 |
| 2.2.2 | Analyse und Auswahl der Probleme | 8 |
| 2.2.3 | Requirement Engineering | 8 |
| 2.2.4 | Konzept | 8 |
| 2.2.5 | Umsetzung Prototyp | 9 |
| 2.2.6 | Testing | 9 |
| 2.2.7 | Dokumentation | 9 |
| 2.3 | Zeitplan | 9 |
| 2.3.1 | Projektplan | 10 |
| 2.3.2 | Zeitschätzung auf Arbeitspaketebene | 11 |
| 3 | Theoretische Grundlagen | 12 |
| 3.1 | Komplexitätsklassen der theoretischen Informatik | 12 |
| 3.1.1 | P | 12 |
| 3.1.2 | NP | 12 |
| 3.1.3 | NP-schwer | 12 |
| 3.1.4 | NP-vollständig | 12 |
| 3.1.5 | $P = NP?$ | 13 |
| 3.2 | Algorithmentypen | 13 |
| 3.2.1 | Backtracking Algorithmen | 13 |
| 3.2.2 | Greedy Algorithmen | 14 |
| 3.2.3 | Evolutionäre Algorithmen | 14 |
| 4 | Analyse und Auswahl der Probleme [R1] | 15 |
| 4.1 | Auswahlverfahren | 15 |
| 4.2 | Problemauswahl | 16 |
| 4.2.1 | Hierarchie der Reduktion | 16 |
| 4.2.2 | Graphentheorie | 16 |
| 4.2.3 | Netzwerk Design | 18 |
| 4.2.4 | Sequenzierung und Planung | 20 |
| 4.2.5 | Mathematisches Programmieren | 23 |
| 4.2.6 | Logik | 25 |
| 4.3 | Übersicht Eingabe- und Ausgabedaten [R2] | 27 |
| 4.4 | Beispiel für den Einfluss der Parameter auf die Komplexität [R1a] | 28 |
| 4.4.1 | Ausgangslage | 28 |
| 4.4.2 | Resultat | 28 |
| 5 | Anforderungsdokument [R3] | 30 |

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1 | Übersicht | 30 |
| 5.1.1 | System- und Kontextabgrenzung | 30 |
| 5.1.2 | Systemumgebung | 31 |
| 5.1.3 | Stakeholder | 31 |
| 5.2 | Anforderungen | 32 |
| 5.2.1 | Use Cases | 32 |
| 5.2.2 | Anforderungen | 36 |
| 5.2.3 | Zusammenfassung der Anforderungen | 44 |
| 5.2.4 | Annahmen | 44 |
| 6 | Konzept der Schnittstelle [R4] | 45 |
| 6.1 | Übersicht | 45 |
| 6.2 | Konzept | 45 |
| 6.2.1 | REST API | 46 |
| 6.2.2 | Business Logik | 46 |
| 6.2.3 | Persistence API | 47 |
| 6.2.4 | Datenbank | 47 |
| 6.2.5 | Ablauf | 48 |
| 6.3 | Datenbank Varianten | 50 |
| 6.3.1 | CAP-Theorem | 50 |
| 6.3.2 | Relationales Datenbanksystem | 51 |
| 6.3.3 | Objektrelationales Datenbanksystem | 52 |
| 6.3.4 | Objektorientiertes Datenbanksystem | 52 |
| 6.3.5 | NoSQL Datenbanksystem | 53 |
| 6.3.6 | Vorselektierung | 55 |
| 6.4 | Nutzwertanalyse | 56 |
| 6.4.1 | Bewertungskriterien | 56 |
| 6.4.2 | Bewertung | 57 |
| 6.4.3 | Fazit | 57 |
| 6.5 | Datendiagramm des Datenspeichers | 58 |
| 7 | Umsetzung des Prototyps [R5] | 61 |
| 7.1 | Erster Durchstich | 61 |
| 7.1.1 | Erkenntnisse nach dem ersten Durchstich | 61 |
| 7.1.2 | Anpassung des Konzepts nach dem ersten Durchstich | 62 |
| 7.2 | Implementierung der Schnittstelle | 62 |
| 7.2.1 | Statusabfrage | 62 |
| 7.2.2 | WebHook Möglichkeit | 62 |
| 7.2.3 | Technische Umsetzung und Herausforderungen | 63 |
| 7.3 | Implementierung der Probleme | 63 |
| 7.3.1 | Rucksack | 64 |
| 7.3.2 | Knotenfärbung | 65 |
| 7.3.3 | Problem des Handlungsreisenden | 65 |
| 7.3.4 | Briefträgerproblem | 66 |
| 7.3.5 | Stundenplan Erstellung | 66 |
| 7.3.6 | Spielplan Erstellung | 68 |
| 7.3.7 | Übersicht der Schnittstellen | 69 |
| 7.3.8 | Erstellung eines neuen Problems | 70 |
| 7.4 | Entwicklungsumgebung | 71 |
| 7.4.1 | IDE - Integrated Development Environment | 71 |
| 7.4.2 | Versionierung | 72 |
| 7.4.3 | Testen - Analysieren | 73 |
| 8 | Tests [R6] | 74 |
| 8.1 | Einführung | 74 |
| 8.2 | Testing | 74 |

| | | |
|----------|------------------------------------------|---------------|
| 8.2.1 | Testabdeckung | 74 |
| 8.3 | Systemtest | 75 |
| 8.3.1 | Testprotokoll | 75 |
| 9 | Schlussfolgerungen | 77 |
| 9.1 | Verwendung | 77 |
| 9.2 | Fazit | 77 |
| 9.3 | Ausblick | 78 |
| A | Anhang | I |
| A.1 | Risikoanalyse des Projekts | I |
| A.1.1 | Risikoermittlung | I |
| A.1.2 | Risikobewertung | I |
| A.1.3 | Risikomatrix | II |
| A.1.4 | Massnahmen | II |
| A.2 | Schnittstellen Dokumentation | IV |
| A.2.1 | Rucksack | IV |
| A.2.2 | Knotenfärbung | V |
| A.2.3 | Problem des Handlungsreisenden | VII |
| A.2.4 | Briefträgerproblem | IX |
| A.2.5 | Stundenplan Erstellung | XI |
| A.2.6 | Spielplan Erstellung | XVI |
| | Akronyme | XXI |
| | Glossar | XXIV |
| | Literaturverzeichnis | XXVIII |
| | Abbildungsverzeichnis | XXIX |
| | Listingsverzeichnis | XXX |
| | Tabellenverzeichnis | XXXII |

1 Problemabgrenzung

Die Problemabgrenzung soll einen generellen Überblick über das Dokument verschaffen. Sie beinhaltet die Ausgangslage, das Ziel der Arbeit, die Aufgabenstellung, die erwarteten Resultate und die Nicht-Ziele. Zusätzlich wird der Aufbau dieses Dokumentes erklärt.

1.1 Ausgangslage

Bei einigen Problemen der Informatik kann *deterministisch* die exakte Lösung nicht in *Polynomialzeit* berechnet werden. Um in sinnvoller Zeit eine brauchbare Lösung zu erhalten, müssen diese Probleme im Allgemeinen mit Hilfe von Approximierungsalgorithmen angegangen werden. Zu dieser Kategorie gehören zum Beispiel das Problem des Handlungsreisenden oder das Rucksack Problem. Praktische Anwendung finden solche Probleme beispielsweise in der Logistik, bei der Routenplanung und beim Verladen von Fracht.

Die bekannten Approximierungsalgorithmen haben verschiedene Ausprägungen und auch unterschiedliche Eingabeparameter. Es gibt keine Schnittstelle für die Benutzung von diesen Algorithmen, welche keine detaillierte Kenntnis der darunterliegenden Probleme und Algorithmen erfordert. Eine Schnittstelle mit dieser Eigenschaft kann die Handhabung solcher Probleme enorm erleichtern.

1.2 Ziele der Arbeit

In der Arbeit soll ein Konzept für eine Schnittstelle zur Lösung verschiedener grundlegender Probleme der Informatik erarbeitet werden. Diese Schnittstelle soll basierend auf den Erkenntnissen einer Analyse über die Gemeinsamkeiten dieser Approximierungsalgorithmen aufgebaut werden. Dadurch soll es einem Benutzer ermöglicht werden seine jeweiligen Probleme, beispielsweise die effiziente Verpackung von Gegenständen, ohne ein Verständnis der darunterliegenden Probleme der Informatik anzugehen.

Bei der Erarbeitung der Schnittstelle stehen eine geeignete Persistenz-Lösung und sowie Datenstrukturen für Ein- und Ausgabe im Vordergrund.

1.3 Aufgabenstellung

Folgende Punkte werden in dieser Bachelorarbeit behandelt:

1. Recherche von real auftretenden Problemen, welche ausschliesslich durch den Einsatz von Algorithmen mit hoher Laufzeitkomplexität gelöst werden können. Einarbeiten und Analyse in die ausgewählten Algorithmen.
2. Ist-Analyse der verwendeten Datenstrukturen für die Algorithmen.
3. Anforderungsanalyse einer Schnittstelle für die ausgewählten Algorithmen.
4. Erarbeiten eines Konzeptes für die Implementierung der Schnittstelle sowie einer zugehörigen Persistenz-Schicht.
5. Implementierung eines Prototypen für die Schnittstelle und der Persistenz-Schicht.
6. Automatisiertes Testen der Schnittstelle.

1.4 Erwartete Resultate

Folgende Punkte werden als Resultate dieser Bachelorarbeit erwartet:

1. Übersicht der Probleme mit den dazugehörigen Algorithmen und Beschreibung der Algorithmen mit ihren Kerneigenschaften.
 - a) Ausführungen zum Einfluss der Parameter der jeweiligen Probleme auf die Komplexität.
2. Übersicht über die verwendeten Datenstrukturen als Input / Output der Probleme.
3. Anforderungskatalog an die Schnittstelle.
4. Konzept einer generellen Schnittstelle zur Lösung der komplexen Probleme und Datendiagramm des Datenspeichers.
5. Prototypische Implementation der Schnittstelle und des Datenspeichers.
6. Automatische Tests mit dem dazugehörigen Testprotokoll.

1.5 Nicht-Ziele

Folgende Punkte wurden mit dem Auftraggeber als Nicht-Ziele definiert und sind somit nicht Teil dieses Projekts:

- Der Sicherheitsaspekt der Schnittstelle wird in diesem Projekt nicht behandelt.
- Es werden keine Algorithmen implementiert.
- Die Hochrechnung von Ausführungszeiten einzelner Probleme ist nicht Teil dieser Arbeit.

1.6 Dokumentstruktur

Dieses Dokument spiegelt die geleistete Arbeit wieder und ist in einzelne Kapitel unterteilt.

- Projektplanung: Schritte für die Erstellung des Projektplanes
- Theoretische Grundlagen: Beschreibung der wichtigsten verwendeten Begriffe und Theorien, welche für das Verstehen der Arbeit notwendig sind
- Analyse und Auswahl der Probleme: Erläuterung der Problemauswahl und Beschreibung der einzelnen Probleme
- Anforderungsdokument: System- und Kontextabgrenzung, *Stakeholder*, getroffene Annahmen und der Anforderungskatalog mit Use Cases und Anforderungen
- Konzept: Übersicht über das ganze System, Nutzwertanalyse der verschiedenen Datenbanktypen und die Konzeptbeschreibung der Schnittstelle
- Umsetzung: Erkenntnisse aus dem ersten Durchstich, Implementierung des Prototyps und Beschreibung der Entwicklungsumgebung
- Tests: Erläuterung der Test-Methoden und das Testprotokoll

Im Anhang sind die Risiko-Analyse, die Schnittstellen Dokumentation, das Glossar und alle Verzeichnisse zu finden. Falls es zu einem Begriff eine gängige Abkürzung gibt, wird diese beim ersten Auftauchen des Wortes in Klammern geschrieben und danach verwendet. Glossar Begriffe oder Akronyme sind beim ersten Erscheinen *kursiv* geschrieben, im weiteren Verlauf werden sie nicht weiter gekennzeichnet.

2 Projektplanung

Dieses Kapitel handelt von der Projektplanung und den verschiedenen Arbeitspaketen für dieses Projekt.

2.1 Meilensteine

Folgende Meilensteine wurden für dieses Projekt festgelegt:

| Projektstart | 23.01.2015 |
|-------------------------------------|-------------------|
| Anforderungsdokument fertig | 28.02.2015 |
| Wissen über Probleme aufgebaut | 19.04.2015 |
| Erster <i>vertikaler Durchstich</i> | 26.04.2015 |
| Architektur festgelegt | 03.05.2015 |
| Prototyp fertig | 29.05.2015 |
| Dokumentation fertig | 12.06.2015 |
| Dokumentation korrigiert | 26.06.2015 |
| Präsentation | 08.07.2015 |

Tabelle 2.1: Meilensteine

2.2 Arbeitspakete

2.2.1 Planung

In der Planungsphase wird betrachtet, was in dem Projekt erreicht werden muss und wie diese Tätigkeiten auf die vorhandene Zeit aufgeteilt werden. Es wird auch das erste Mal mit dem Stakeholder geredet und erste Abmachungen getroffen.

2.2.2 Analyse und Auswahl der Probleme

Ein wichtiges Paket ist die Analyse und die Auswahl der Probleme. Die Probleme müssen möglichst vielfältig gewählt und gut analysiert werden, damit das Konzept mit den erhobenen Daten korrekt geplant werden kann.

2.2.3 Requirement Engineering

Bei der Erstellung eines neuen Systems ist es entscheidend, dass die Grundanforderungen bekannt sind. Um die Anforderungen zu erfassen, werden die Stakeholder befragt, was ihre Wünsche sind. Oft werden bei der Anforderungsanalyse einige Anforderungen nicht aufgelistet, sondern einfach vorausgesetzt, sogenannte *Basisfaktoren*. Diese Anforderungen müssen dann vom Entwickler erfasst werden. Der Anforderungskatalog wird nach der Vollendung nochmals mit den Stakeholdern in einem Review durchgegangen (siehe^[PR11]).

2.2.4 Konzept

Das Hauptziel dieser Arbeit ist ein Konzept, welches generisch sein und viele verschiedene Probleme mit wenig Aufwand verarbeiten können sollte. Die Architektur muss gut durchdacht sein und die Möglichkeiten müssen gegeneinander abgewägt werden. Schliesslich muss ein Konzept entstehen, welches in einem Prototypen umsetzbar ist.

2.2.5 Umsetzung Prototyp

In diesem Arbeitspaket werden die Anforderungen mit dem festgelegten Konzept umgesetzt. Die Schnittstelle wird entworfen, die ersten Tests werden durchgeführt und Unstimmigkeiten in den Anforderungen werden mit dem Stakeholder geklärt.

2.2.6 Testing

Das Projekt benötigt automatische Tests, welche erstellt und überprüft werden müssen. Die Tests sollten einen Grossteil des Projekts abdecken und bei einer Anpassung oder Erweiterung des Codes Sicherheit bieten.

2.2.7 Dokumentation

Die Dokumentation wird während des ganzen Projekts hindurch aktuell gehalten. Für das Erfassen dieses Dokuments wird \LaTeX und das \LaTeX -Template der ZHAW^[zha15] mit ein paar kleinen Anpassungen verwendet.

2.3 Zeitplan

Der Zeitplan gibt eine grobe Übersicht, wann an dem Projekt gearbeitet werden kann und wann die verschiedenen Tätigkeiten fertig sein sollten. Die Angaben sind nur Richtwerte, da neben dem Projekt noch berufliche Verpflichtungen und andere Tätigkeiten Zeit benötigen.

2.3.1 Projektplan

Der Zeitplan basierend auf den Arbeitspaketen und den geplanten Abwesenheiten sieht wie folgt aus:

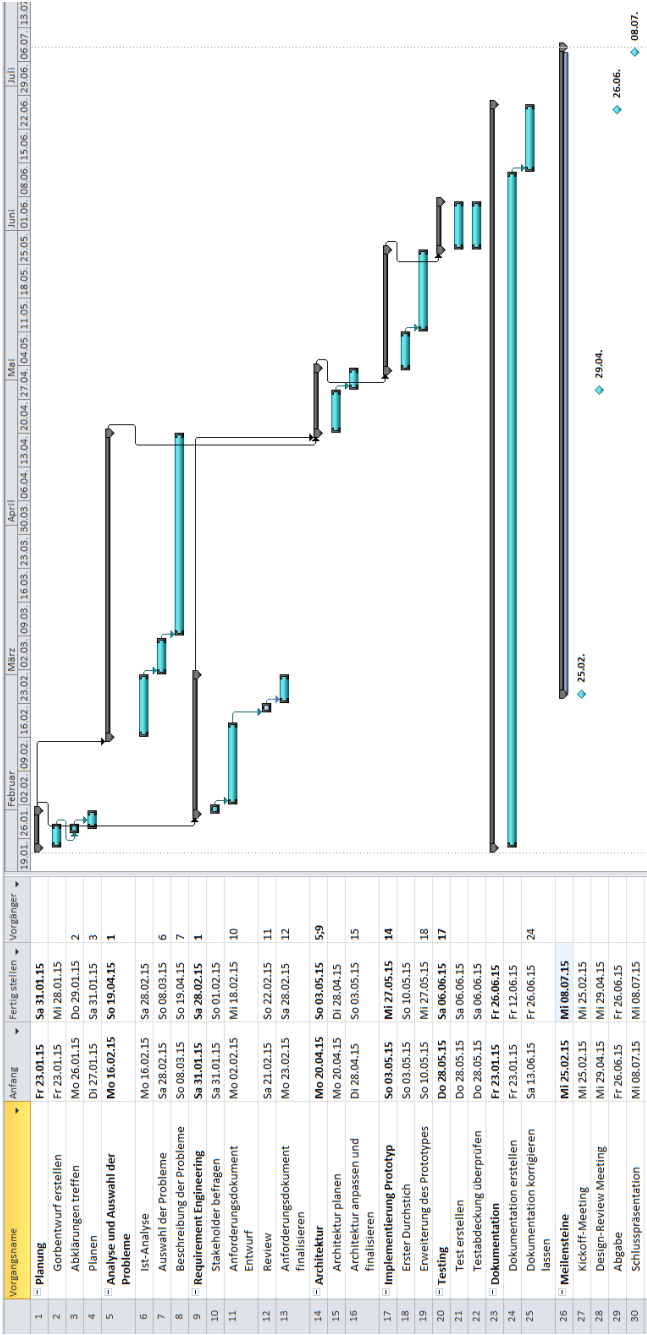


Abbildung 2.1: Projektplan (eigene Darstellung)

2.3.2 Zeitschätzung auf Arbeitspaketebene

| Arbeitspaket | Schätzung (h) | Tatsächlich (h) |
|-----------------------------------|---------------|-----------------|
| Requirement Engineering | 20 | 30 |
| Reale Optimierungsprobleme suchen | 50 | 70 |
| Wissensaufbau Algorithmen | 70 | 50 |
| Konzept Planung | 60 | 70 |
| Prototyp Entwicklung | 50 | 80 |
| Tests | 10 | 20 |
| Dokumentation | 120 | 100 |
| Total | 380 | 420 |

Tabelle 2.2: Zeitschätzung auf Arbeitspaketebene

Erklärung der Abweichungen

Das Requirement Engineering und Testen wurde unterschätzt, die Zeit floss jedoch vor allem in Detailarbeiten. Bei der Suche von realen Optimierungsprobleme wurde mehr Zeit beansprucht, als ursprünglich geplant. Während der Suche konnte jedoch bereits Wissen über die Algorithmen aufgebaut werden, was dazu führte, dass in diesem Bereich weniger Zeit benötigt wurde. Als Evaluation des gewählten Konzept wurde ein vertikaler Durchstich durchgeführt, was sich in der benötigten Zeit widerspiegelt. Die Entwicklung des Prototyps war aufwändiger als gedacht, was daran lag, dass sechs statt fünf Probleme umgesetzt wurden. Die Dokumentation benötigte nicht so viel Zeit, jedoch ist dieser Punkt auch etwas ungenau zu messen, da in den anderen Paketen bereits Dokumentation entsteht.

3 Theoretische Grundlagen

Die theoretischen Grundlagen dienen dazu, wichtige Informationen zum Verständnis der Arbeit zu erläutern. Es werden die Komplexitätsklassen der theoretischen Informatik und die verschiedenen Algorithmentypen erklärt.

3.1 Komplexitätsklassen der theoretischen Informatik

In der theoretischen Informatik wird zwischen verschiedenen Komplexitätsklassen unterschieden. In diesem Kapitel wird nur auf die Komplexitätsklassen *Nichtdeterministische Polynomialzeit* (NP), *deterministische Polynomialzeit* (P), NP-schwer und NP-vollständig eingegangen, weitere Klassen wie zum Beispiel Random Polynomial (RP) oder Zero-Error Probabilistic Polynomial (ZPP) werden nicht erläutert, da sie nicht für das Verständnis der Arbeit notwendig sind. Die nachfolgenden Erklärungen sind aus^[HMU11] und^[Ric12] abgeleitet.

3.1.1 P

Probleme, welche in Polynomialzeit mit Hilfe einer deterministischen *Turingmaschine* lösbar sind, gehören zu der Klasse der P Probleme. In Polynomialzeit lösbar heisst, dass die Laufzeitkomplexität in einem Polynom mit der Form n^k dargestellt werden kann, wobei n die Eingabelänge und k eine Konstante ist.

3.1.2 NP

NP Probleme können mit Hilfe einer nichtdeterministischen Turingmaschine in Polynomialzeit gelöst werden. Zusätzlich muss die Korrektheit einer Lösung zu einem NP Problem ebenfalls in Polynomialzeit überprüft werden können. Die Prozedur, welche für die Überprüfung benötigt wird, wird *Polynomialzeit-Verifizierer* genannt.

3.1.3 NP-schwer

Um zu beweisen, dass ein Problem NP-schwer ist, müssen für alle bekannten NP-schweren Probleme eine *Polynomialzeitreduktion* auf dieses Problem durchgeführt werden können. Mit diesem Beweis wird gezeigt, dass das Problem mindestens so schwer wie die anderen Probleme ist. Stephen Cook hat die NP-Schwere des SAT-Problems bewiesen, indem er die Arbeitsweise einer nichtdeterministischen Turingmaschine durch eine logische Formel beschrieb^[Coo71]. Wenn das SAT-Problem gelöst werden kann, kann auch entschieden werden, ob die nichtdeterministische Turingmaschine hält, somit ist SAT NP-schwer. Die derzeit bekannten Algorithmen zur Lösung NP-schwerer Probleme besitzen eine Laufzeitkomplexität höher als polynomial, zum Beispiel k^n (exponentiell) oder $n!$ (faktoriell). Die Probleme werden in Entscheidungsprobleme und Optimierungsprobleme, bei welche die optimale Lösung gesucht wird, unterteilt.

3.1.4 NP-vollständig

Stephen Cook bewies nicht nur die NP-Schwere des SAT-Problems. Er zeigte auch, dass die Überprüfung einer Lösung in Polynomialzeit möglich ist. Das SAT-Problem ist somit NP-vollständig. Die Arbeit von Cook ist die Grundlage für den Beweis der NP-Vollständigkeit vieler Probleme. Für den Nachweis der NP-Vollständigkeit weiterer Probleme müssen folgende Punkte erfüllt sein:

- Ein Polynomialzeit-Verifizierer für das Problem ist vorhanden.
- Ein anderes bekanntes NP-vollständiges Problem ist auf dieses Problem reduzierbar.

3.1.5 $P = NP$?

Eine der grossen Fragen in der theoretischen Informatik ist, ob $P = NP$ gilt. Dies würde bedeuten, dass alle Probleme in NP in Polynomialzeit berechnet werden können. Falls dies für ein Problem bewiesen werden könnte, wäre die Aussage per Definition für alle gültig. Immer wieder wird versucht $P \neq NP$ bzw. $P = NP$ zu beweisen, eine Liste der Versuche ist unter ^[pro15] zu finden. Die Beweise werden jedoch meist ziemlich schnell widerlegt und somit bleibt der Beweis weiter offen. Die Abbildung 3.1 zeigt die Aufteilung der verschiedenen Komplexitätsklassen für die beiden Fälle $P \neq NP$ und $P = NP$. Momentan wird davon ausgegangen, dass $P \neq NP$ ist und somit die linke Aufteilung stimmt.

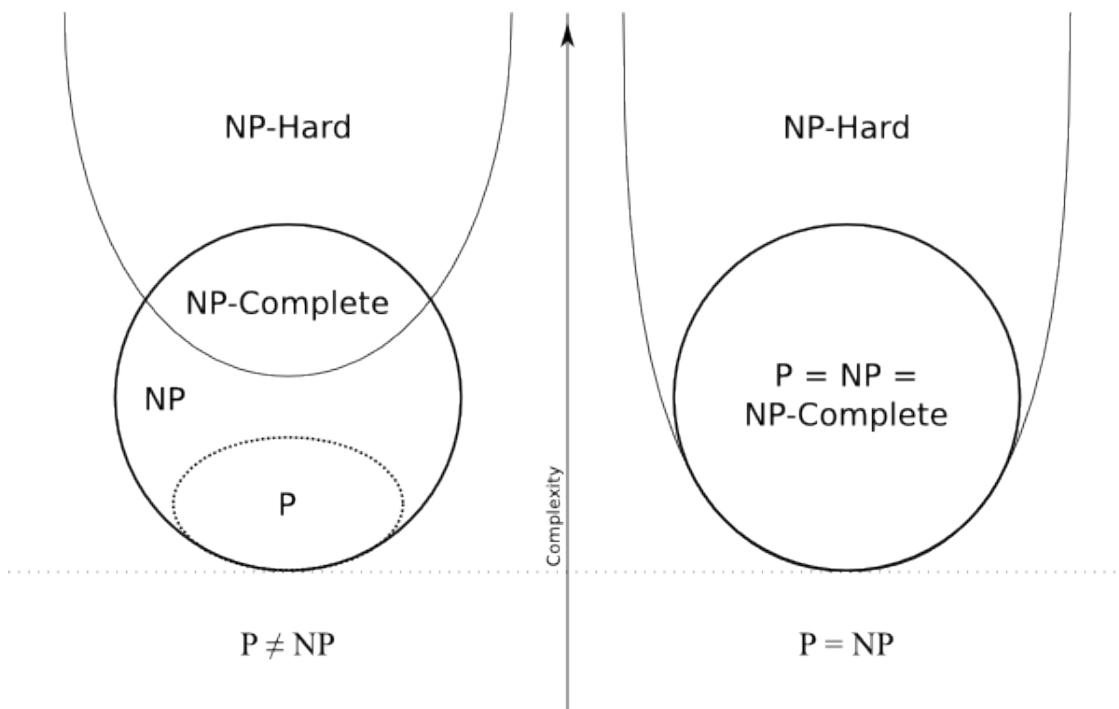


Abbildung 3.1: Übersicht der Komplexitätsklassen ($P \neq NP$ und $P = NP$) (Grafik entnommen aus ^[Esf15])

3.2 Algorithmentypen

In diesem Abschnitt werden drei gängige Algorithmentypen erklärt, welche bei der Recherche bei der Lösung vieler Problemen zum Einsatz kamen. Die Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Dynamic Programming oder Divide and Conquer wären weitere gängige Algorithmentypen, welche für das Lösen von Problemen mit hoher Laufzeitkomplexität verwendet werden ^[DPV06].

3.2.1 Backtracking Algorithmen

Beim Backtracking geht es darum, sich einer Lösung eines Problems schrittweise zu nähern. Bei jedem neuen Schritt wird geprüft, ob das Resultat noch eine gültige Lösung darstellt. Falls dies nicht der Fall ist, wird der letzte Schritt rückgängig gemacht und es wird ein anderer Weg eingeschlagen. In ^[Pie11] wird dieses Verfahren anhand des Damenproblems aufgezeigt.

Die Laufzeit eines Backtracking Algorithmus ist Abhängig von der Eingabegrösse und der Verzweigungsrate. Im schlechtesten Fall beträgt sie $O(z^n)$, wobei n die Eingabegrösse und z die Verzweigungsrate ist. Die Suche dauert oft lange, deshalb empfiehlt sich ein Backtracking Algorithmus

nur bei kleinen Lösungsbäumen^[Ste13]. Jedoch wird mithilfe eines Backtracking Algorithmus immer eine Lösung gefunden, falls eine existiert^[PD08].

3.2.2 Greedy Algorithmen

Greedy Algorithmen liefern oft schnell eine Lösung, welche aber meist nicht optimal ist. Die Algorithmen entscheiden bei jedem Schritt, was die aktuell beste Möglichkeit ist. Da sie nicht alle Möglichkeiten betrachten, finden sie oft nur ein lokales Minimum bzw. Maximum^[McM14]. In Abbildung 3.2 ist in grün der Weg des Greedy Algorithmus zu sehen. Der Algorithmus entscheidet sich für die 12 auf der zweiten Ebene, da diese im Betrachtungsraum als beste Lösung gilt. Mit dem violetten Pfad könnte jedoch ein viel höherer Wert erzielt werden.

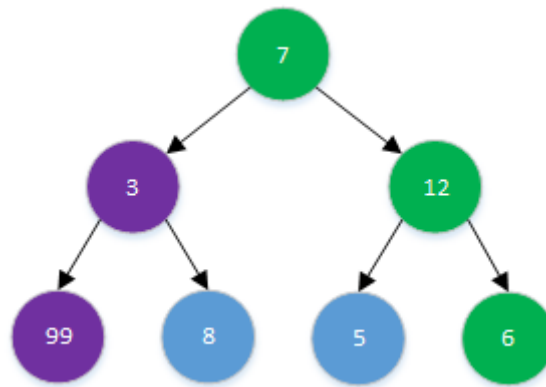


Abbildung 3.2: Suchen des profitabelsten Weg mit Hilfe eines Greedy Algorithmus (eigene Darstellung, Daten entnommen aus^[pic11])

3.2.3 Evolutionäre Algorithmen

Evolutionäre Algorithmen nähern sich einer optimalen Lösung an. Sie basieren auf Kombinationen von Objekten und einer Fitnessfunktion zur Bewertung der einzelnen Generationen. Ein Ablauf eines Evolutionären Algorithmus sieht meist wie folgt aus:

1. Initialisierung: Die erste Generation wird meist zufällig erzeugt
2. Iteration durch folgende Schritte, bis zu einer bestimmten Konvergenz oder einer maximalen Anzahl an Generationen:
 - a) Evaluation: Mit Hilfe der Fitnessfunktion werden die Individuen bewertet
 - b) Selektion: Auswahl von Individuen für die Rekombination
 - c) Rekombination: Erstellen einer neuen Generation durch die Kombination der ausgewählten Individuen
 - d) Mutation: Veränderung der Eigenschaften (Gene) der Nachfahren

Die Mutation und Rekombination können positive, negative oder neutrale Eigenschaften haben. Wie in der Natur überlebt der am besten Angepasste, somit wird die Lösung laufend besser^[PD08]. Evolutionäre Algorithmen sollten erst zum Einsatz kommen, wenn das Optimierungsproblem nicht effizient mit einem anderen Algorithmustyp gelöst werden kann. Evolutionäre Algorithmen haben oft eine höhere Laufzeit und es ist nicht garantiert, dass sie immer eine optimale Lösung liefern^[Dye15].

4 Analyse und Auswahl der Probleme [R1]

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Probleme, welche für die Erstellung der Schnittstelle betrachtet wurden, und das dazugehörige Auswahlverfahren erläutert.

4.1 Auswahlverfahren

Da es viele Probleme mit hoher Laufzeitkomplexität gibt, musste ein geeignetes Auswahlverfahren gefunden werden. Mit diesem Verfahren sollten möglichst unterschiedliche Typen dieser Probleme für die Schnittstelle evaluiert werden. Dafür wurde eine Kategorisierung der Probleme gesucht, auf welche sich gestützt werden konnte. In der Informatik wird oft das Buch „Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness“^[GJ79] von Micheal Garey und David S. Johnson als Quelle verwendet. Laut einer Auswertung über die freie, digitale Bibliothek „CiteSeer“ war es das mit 4137 Referenzen im Jahre 2006 am häufigsten Zitierte Informatik Werk der Bibliothek^[cit15]. In diesem Buch werden verschiedene NP-vollständige und NP-schwere Probleme vorgestellt und in Kategorien unterteilt. Diese Kategorien (siehe Auflistung unten) wurden auch benutzt, um die zu analysierenden Probleme auszuwählen.

- Graphentheorie
- Netzwerk Design
- Sets und Partitionen
- Speicherung und Wiederherstellung
- Sequenzierung und Planung
- Mathematisches Programmieren
- Algebra und Zahlentheorie
- Spiele und Puzzles
- Logik
- Automaten und Sprachtheorie
- Programm Optimierung
- Sonstiges
- Offene Probleme

Im Rahmen dieser Arbeit konnten nicht alle Probleme aus dem Buch behandelt werden. Deshalb wurde eine Auswahl von fünf Problemen getroffen, welche in der Realität auftreten und nicht nur von rein wissenschaftlichem Interesse sind. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, dass die Probleme aus unterschiedlichen Kategorien kommen. Es wurden jedoch auch zwei aus der gleichen Kategorie ausgesucht, um zu analysieren wie sich diese im Gegensatz zu den anderen verhalten.

Die Probleme werden im folgenden Abschnitt genauer erläutert und für die weiteren Schritte der Erstellung der Schnittstelle berücksichtigt. Durch dieses Vorgehen konnte eine hohe Diversität von Problemen sichergestellt werden, was bei der Erstellung der Anforderungen und des Konzepts hilfreich war.

4.2 Problemauswahl

4.2.1 Hierarchie der Reduktion

Wie bereits in 3.1.4 beschrieben, muss für den Beweis der NP-Vollständigkeit bzw. NP-Schwere ein bekanntes NP-schweres Problem auf das Bestehende in Polynomialzeit reduziert werden können. In Abbildung 4.1 ist die Hierarchie der Reduktion für die ausgewählten Probleme aufgezeigt.

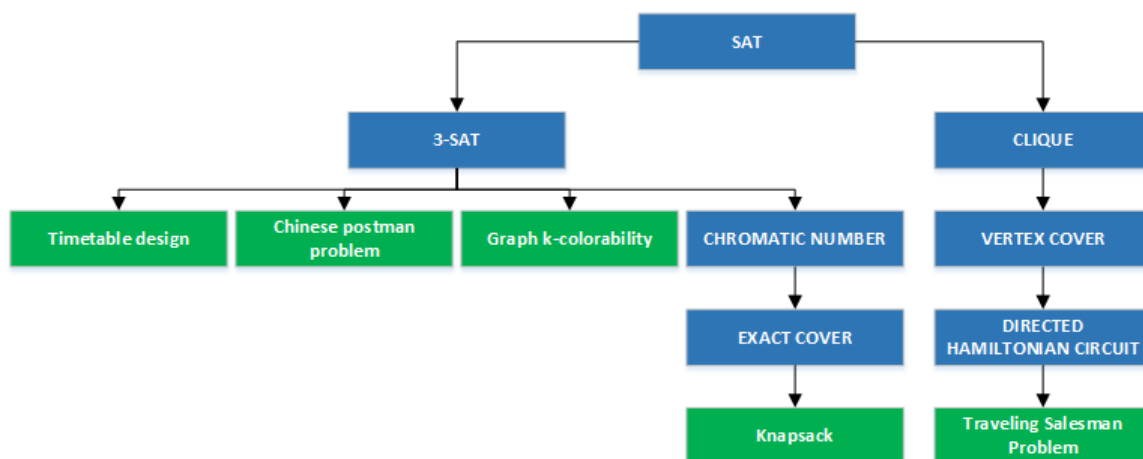


Abbildung 4.1: Hierarchie der Reduktion zum Beweis der NP-Vollständigkeit bzw. NP-Schwere (eigene Darstellung, Daten aus^[GJ79])

4.2.2 Graphentheorie

Färbung (Graphtheorie)

Die Färbung in der Graphtheorie ist ein NP-vollständiges Problem. Dies wurde durch die Reduktion des 3-SAT Problems bewiesen.

Beschreibung Englischer Name: Graph k-colorability

Bei diesem Problem geht es darum, die Knoten eines Graphens so zu färben, dass keine zwei benachbarten Knoten die gleiche Farbe tragen. Ein Graph heisst k-färbbar, wenn die Färbung mit k Farben korrekt durchgeführt werden kann. Dieses Problem ist für $k = 2$ in polynomieller Zeit lösbar, für $k > 2$ jedoch nicht mehr. Es gibt Spezialfälle, bei welchen auch ein Problem mit $k > 2$ in polynomieller Zeit lösbar sind (siehe^[GJ79]).

Beispiel Gegeben sei ein Graph mit 10 Knoten mit einer vorgegebenen Konfiguration (siehe Abbildung 4.2).

Gesucht ist die Färbung der Knoten, damit keine zwei benachbarten Knoten die gleiche Farbe haben. Zudem die minimale Anzahl Farben (k), welche verwendet werden müssen, damit die Bedingung erfüllt ist. Der Graph 4.2(a) zeigt eine ungültige Lösung mit zwei Farben. Es kann gezeigt werden, dass dieser Graph mindestens drei Farben benötigt, um die Bedingung zu erfüllen (siehe Graph 4.2(b)). Somit ist $k = 3$.

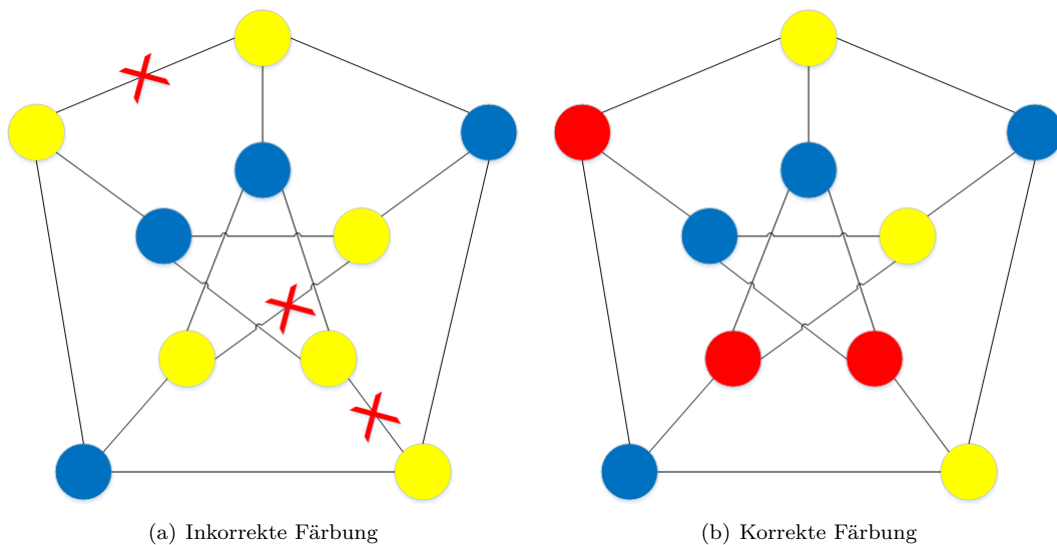


Abbildung 4.2: Kanten Färbung eines Graphen mit 10 Knoten (eigene Darstellung)

Eingabe- und Ausgabedaten

Eingabedaten: Knoten und ihre Kanten

Ausgabedaten: Knoten mit ihrer Färbung und k (Anzahl benötigter Farben)**Einfluss der Parameter auf die Komplexität**

Bei der Knotenfärbung steigert sich die Komplexität mit Anzahl Kanten. Die Knoten sind nur insofern relevant, dass sie neue Kanten aufspannen. Dass die Komplexität nur von der Anzahl Kanten abhängt, zeigt auch die Formel zur Berechnung des Maximums von k : $k \leq \frac{1}{2} + \sqrt{2m + \frac{1}{4}}$, wobei m für die Anzahl Kanten steht (siehe [Sch08]). Je grösser k , desto häufiger treten Kollisionen auf und umso mehr Varianten müssen ausprobiert werden.

Bekannte Algorithmen (siehe [Sie03a], [KN12] und [Sie03b])

- Spalten-Generierungs-Ansatz
- Sequentielles Färben (Sequential Coloring)
- Backtracking Algorithmus
- Greedy Algorithmus
- Johnson-Algorithmus

Bekannte reale Probleme Es gibt einige reale Probleme, welche mit der Knotenfärbung gelöst werden können, hier eine Auswahl:

- Stundenplan: Anhand der eingegebenen Daten wird ein Konfliktmatrix erstellt und diese dann in ein Färbungsproblem umgewandelt. Die Anzahl benötigten Farben sind dann die Anzahl der verschiedenen Perioden, welche es benötigt, um einen Stundenplan ohne Konflikte zu erstellen. [HBSA11] [KS] [Abd06]
- Frequenzverteilung (Mobilfunk): Im Mobilfunk hat jede Antenne einen Frequenzbereich. Im Graph werden die Antennen miteinander verbunden, bei denen sich die Reichweite überschneidet. Die Farben können durch Frequenzen ersetzt werden. Die Lösung stellt eine konfliktfreie Mobilnetzabdeckung dar. [Sie03b]
- Einfärben von Landkarten: Die Länder sind die Knoten, die Kanten die Verbindung zu den Nachbarländern und die errechnete Farbe entspricht der Einfärbung auf der Landkarte. [Sie03b]

4.2.3 Netzwerk Design

Problem des Handlungsreisenden

Das Problem des Handlungsreisenden ist ein NP-schweres Problem. Dies wurde durch die Reduktion des Hamiltonkreisproblems bewiesen. Das Problem wird fälschlicherweise oft als NP-vollständig bezeichnet. Es ist jedoch noch kein Polynomialzeit-Verifizierer bekannt, der in Polynomialzeit überprüfen kann, ob die errechnete Route das optimale Resultat ist.

Beschreibung Englischer Name: Traveling Salesperson Problem

Beim Problem des Handlungsreisenden geht es darum, mit einer optimalen Route von einem Ausgangspunkt verschiedene Wegpunkte genau ein Mal abzufahren und wieder zum Ausgangspunkt zurück zu kehren. Bei zehn Wegpunkten und gerichteten Kanten sind das über dreieinhalb Millionen Möglichkeiten. Bei der symmetrischen Variante mit ungerichteten Kanten sind die Verbindungen zwischen zwei Punkten gleich lang, was die Komplexität halbiert.

Beispiel Gegeben seien vier Wegpunkte (A, B, C, D), der Startpunkt sei A.

Gesucht ist die optimale Route, welche alle Wegpunkte beinhaltet und wieder bei A endet.

Die Abbildung 4.3 zeigt alle möglichen Lösungen mit ihren errechneten Werten. Die Route A-D-C-B-A ist mit Kosten von 16 die beste Route. Weiter ist zu sehen, dass bei vier Wegpunkten mit gerichteten Kanten bereits sechs Möglichkeiten vorhanden sind.

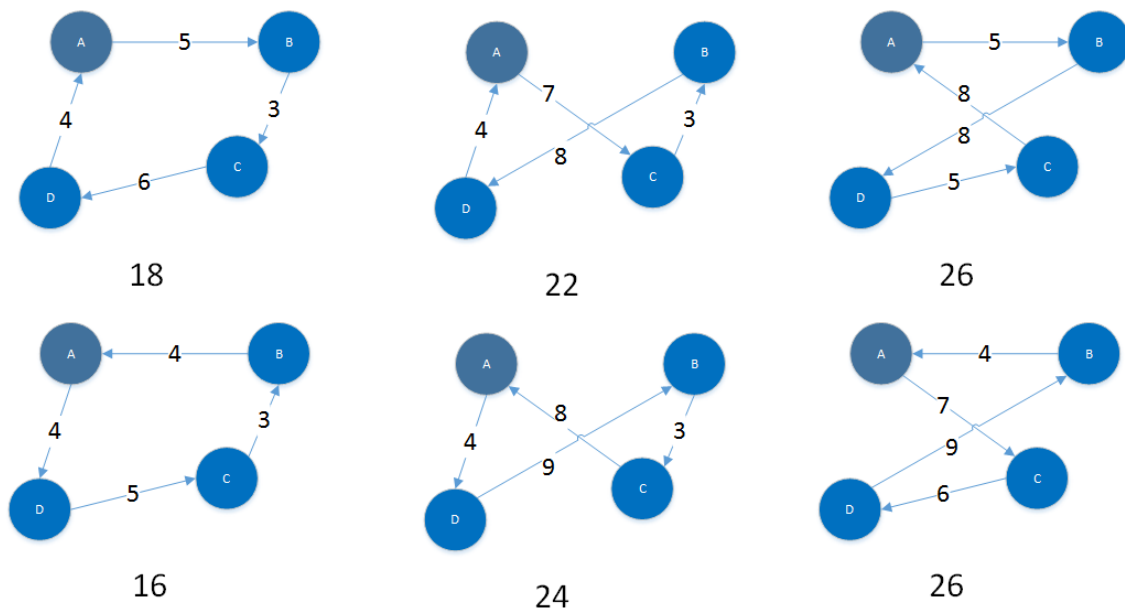


Abbildung 4.3: Problem des Handlungsreisenden mit vier Wegpunkten (eigene Darstellung)

Eingabe- und Ausgabedaten

Eingabedaten: Startpunkt und Wegpunkte, welche passiert werden müssen

Ausgabedaten: Reihenfolge der Wegpunkte für eine optimale Route

Einfluss der Parameter auf die Komplexität

Die Komplexität beim Problem des Handlungsreisenden wird durch die Anzahl Wegpunkte bestimmt. Für die asymmetrische Variante ist die Formel zur Berechnung der Möglichkeiten $(n-1)!$ für eine symmetrische hingegen $\frac{(n-1)!}{2}$.

Bekannte Algorithmen [Sau12] [LS] [PD08]

- Branch and Bound
- Nearest-Neighbor
- Christofides

Briefträgerproblem

Das Briefträgerproblem ist an sich kein NP-vollständiges Problem, jedoch wurde für Varianten des Problems die NP-Vollständigkeit bewiesen. Für das ‘Rural Postman Problem’, bei welchem nicht jeder Punkt zwingend abgefahren werden muss, wurde dies durch die Reduktion des 3-SAT Problems bewiesen. In dieser Arbeit wird das Briefträgerproblem behandelt, da die Varianten darauf aufbauen und so die Basis betrachtet wird.

Beschreibung Englischer Name: Chinese postman problem

Das Briefträgerproblem ist vergleichbar mit dem Problem des Handlungsreisenden, jedoch geht es darum jede Kante mindestens ein Mal abzufahren. Die Knoten stellen Kreuzungen dar, die Kanten entsprechen den Strassen, beide dürfen mehrfach befahren werden. Die minimale Länge kann mit Hilfe des Eulerkreises relativ einfach berechnet werden. Falls der Graph die Kriterien des Eulerkreises nicht erfüllt, werden alle Knoten mit ungerader Anzahl Kanten mit einem anderen Knoten verbunden. Für die Auswahl der zu verbindenden Knoten wird die perfekte Paarung berechnet. Die minimal Länge ist die Summe aller Strecken und Hilfsstrecken. [PB04]

Beispiel Gegeben sei der Graph mit den Punkten A bis H und den Verbindungen in blau. Gesucht ist eine Route mit dem kürzesten Weg, welche jede Kante mindestens ein Mal abfährt. [PB04] Die grün eingezeichneten Verbindungen sind Hilfslinien, um den Graphen in einen *Eulerkreis* zu verwandeln. Eine mögliche Lösung mit der minimal Länge von 1000 ist die Route A-D-C-G-H-C-A-B-D-F-B-E-F-H-F-B-A.

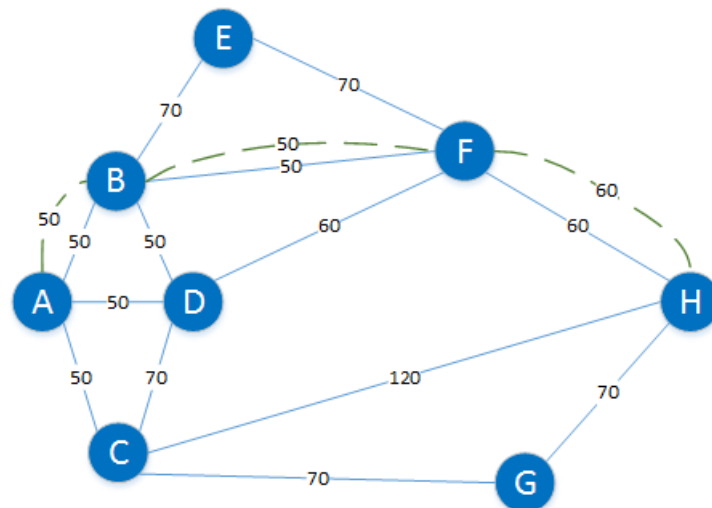


Abbildung 4.4: Beispiel für ein Briefträgerproblem (eigene Darstellung, Daten entnommen aus: [PB04])

Eingabe- und Ausgabedaten

Eingabedaten: Startpunkt und Knoten mit ihren Verbindungen mit einer Gewichtung

Ausgabedaten: Reihenfolge der Knoten für eine minimale Strecke

Einfluss der Parameter auf die Komplexität

Wie bei der Knotenfärbung spielt die Anzahl Kanten die Hauptrolle bei der Komplexität. Wie viele Knoten ein Graph hat und ob dieser bereits eulersch ist, hat einen geringeren Einfluss.

Bekannte Algorithmen

Briefträgeralgorithmus (Chinese postman algorithm) [PB04]

4.2.4 Sequenzierung und Planung**Stundenplan-Erstellung**

Das Erstellen eines Stundenplans ist ein NP-vollständiges Problem. Dies wurde durch die Reduktion des 3-SAT-Problems bewiesen.

Beschreibung Englischer Name: Timetable design

Die Erstellung von Stundenplänen ist ein sehr komplexes Problem. Basierend auf Fächer, Lehrer, Klassen und Klassenzimmern wird versucht, eine optimale Verteilung der Stunden zu erreichen. Die wichtigste Bedingung ist, dass eine Ressource, sei das ein Lehrer, eine Klasse oder ein Schulzimmer, zu jedem Zeitpunkt höchstens ein Mal verplant ist. Zusätzlich kann es beliebige weitere Kriterien geben, beispielsweise dass eine Klasse nie mehr als neun Lektionen pro Tag haben soll oder ein Lehrer nie mehr als fünf Lektionen nacheinander unterrichten sollte. Bei der Erstellung von Stundenplänen wird oft von Hard Constraints und Soft Constraints gesprochen. Ein Hard Constraint ist im Gegensatz zu einem Soft Constraint unabdingbar. Es ist nicht möglich, dass ein Lehrer zwei verschiedene Fächer gleichzeitig unterrichtet, notfalls könnte er aber mehr als fünf Lektionen hintereinander unterrichten. [AA92] [Abr91] [GWB03] [Jaf14]

Beispiel Gegeben seien die Fächer, Lehrer, Klassen und Klassenzimmer aus den Tabellen 4.1, 4.2, 4.3 und 4.4.

Gesucht ist ein Stundenplan, bei welchem es keine Kollisionen für Lehrer, Klassen und Klassenzimmer gibt.

| Fachname | Kürzel |
|-------------|--------|
| Mathematik | M |
| Deutsch | D |
| Englisch | E |
| Französisch | F |
| Sport | Sp |

Tabelle 4.1: Schulfächer

| Lehrername | Ausbildung |
|------------|--------------------------------------------|
| Angst | Deutsch, Mathematik, Sport |
| Arm | Sport |
| Bernasconi | Deutsch, Mathematik, Französisch |
| Müller | Deutsch, Mathematik, Englisch, Französisch |
| Pfister | Englisch, Französisch |

Tabelle 4.2: Lehrer

| Klassenname | Benötigte Fächer |
|-------------|---------------------------------------------------|
| Tja13 | Deutsch, Mathematik, Sport |
| Tja12 | Deutsch, Mathematik, Sport, Französisch |
| Tja11 | Deutsch, Mathematik, Sport, Französisch, Englisch |
| Tja10 | Deutsch, Mathematik, Sport, Französisch, Englisch |

Tabelle 4.3: Klassen

| Zimmername |
|------------|
| Zimmer 101 |
| Zimmer 103 |
| Zimmer 201 |
| Turnhalle |

Tabelle 4.4: Klassenzimmer

Tabelle 4.5 zeigt eine mögliche Lösung. Es wurde beachtet, dass die Lehrer möglichst gleich viele Stunden unterrichten und die Schüler keine doppelten Freistunden haben. Es fällt auf, dass das Zimmer 201 nur selten besetzt ist. In der zweiten Variante (siehe Tabelle 4.6) wurden die Stunden der Klasse Tja11 so verschoben, dass das Zimmer 201 gar nicht mehr benötigt wird. Die Klasse Tja11 hat nun aber eine doppelte Freistunde. Die Eingabedaten sind im Beispiel noch sehr überschaubar, trotzdem gibt es bereits enorm viele verschiedenen Möglichkeiten und Ausprägungen.

| Uhrzeit | Turnhalle | Zimmer 101 | Zimmer 103 | Zimmer 201 |
|-----------|---------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| 0800-0900 | Sp / Tja13 Arm | D / Tja11 Müller | | |
| 0900-1000 | Sp / Tja13 Arm | M / Tja11 Müller | F / Tja12 Pfister | |
| 1000-1100 | Sp / Tja12 Arm | D / Tja10 Bernasconi | M / Tja13 Angst | F / Tja11 Müller |
| 1100-1200 | Sp / Tja12 Arm | M / Tja10 Angst | D / Tja13 Bernasconi | E / Tja11 Pfister |
| 1300-1400 | Sp / Tja11 Angst | F / Tja10 Bernasconi | D / Tja12 Müller | |
| 1400-1500 | Sp / Tja11 Angst | E / Tja10 Pfister | M / Tja12 Bernasconi | |
| 1500-1600 | Sp / Tja10 Angst | | | |
| 1600-1700 | Sp / Tja10 Angst | | | |

Tabelle 4.5: Möglicher Stundenplan - Variante 1

| Uhrzeit | Turnhalle | Zimmer 101 | Zimmer 103 |
|-----------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0800-0900 | Sp / Tja13 Arm | D / Tja11 Müller | |
| 0900-1000 | Sp / Tja13 Arm | M / Tja11 Müller | F / Tja12 Pfister |
| 1000-1100 | Sp / Tja12 Arm | D / Tja10 Bernasconi | M / Tja13 Angst |
| 1100-1200 | Sp / Tja12 Arm | M / Tja10 Angst | D / Tja13 Bernasconi |
| 1300-1400 | Sp / Tja11 Angst | F / Tja10 Bernasconi | D / Tja12 Müller |
| 1400-1500 | Sp / Tja11 Angst | E / Tja10 Pfister | M / Tja12 Bernasconi |
| 1500-1600 | Sp / Tja10 Angst | F / Tja11 Müller | |
| 1600-1700 | Sp / Tja10 Angst | E / Tja11 Pfister | |

Tabelle 4.6: Möglicher Stundenplan - Variante 2

Eingabe- und Ausgabedaten

Eingabedaten: Fächer, Lehrer, Klassen und Klassenzimmer mit verschiedenen Einschränkungen und Zusatzinformationen

Ausgabedaten: Einteilung der Fächer mit den dazugehörigen Klassen, Lehrern und Zimmer auf verschiedene Tage und Uhrzeiten, welche keine Konflikte enthält

Einfluss der Parameter auf die Komplexität

Beim Stundenplanproblem sind es nicht alle vier Listen, welche die Komplexität des Problems ausmachen. Den grössten Einfluss haben die Anzahl Stunden, welche verplant werden müssen. Die Anzahl Möglichkeiten berechnen sich wie folgt (vergleiche ^[Bra15]):

$$(AnzahlRäume * AnzahlZeitfenster * AnzahlLehrer)^{AnzahlVeranstaltungen}$$

Bekannte Algorithmen (siehe ^[GWB03])

- Backtracking Algorithmus
- Evolutionäre Algorithmen
- Constraint Logic Programming

Bekannte ähnliche Probleme Es gibt diverse andere Planungsprobleme, welche auf dem gleichen Konzept basieren, jedoch unterschiedliche Eingabedaten und Beschränkungen haben ^[GWB03]:

- Spielplan
- Prüfungsplan
- Schichtenplanung

Bekannte Lösungen Eine gut ausgearbeitete Software ist 'Units' ^[uni15], sie liefert umfangreiche Funktionen zur Erstellung von Stundenplänen.

4.2.5 Mathematisches Programmieren

Rucksack-Problem

Das Rucksack-Problem ist ein NP-schweres Problem. Dies wurde durch die Reduktion des Problems der exakten Überdeckung bewiesen. Das Problem wird fälschlicherweise oft als NP-vollständig bezeichnet. Es ist jedoch noch kein Polynomialzeit-Verifizierer bekannt, der in Polynomialzeit überprüfen kann, ob die errechnete Lösung das optimale Resultat ist.

Beschreibung Englischer Name: Knapsack

Beim Rucksack-Problem geht es um einen beliebigen Behälter, symbolisch der Rucksack, mit einer Gewichtsschranke. Zudem gibt es Objekte, welche in den Container gepackt werden können. Diese Objekte besitzen ein Gewicht und einen Profit. Das Ziel ist es, den grösstmöglichen Profit zu erlangen, ohne die Gewichtsschranke zu überschreiten. [Nag15]

Beispiel Gegeben sei ein Rakete mit der Gewichtsschranke 645 kg und die Objekte in Tabelle 4.7. Gesucht ist die Objektauswahl mit dem grössten Profit, welche die Gewichtsschranke nicht überschreitet.

In diesem Beispiel wäre die optimale Lösung 1, 2, 3 und 5. [Nag15]

| Objekt-Nr. | Gewicht in kg | Profit |
|------------|---------------|--------|
| 1 | 153 | 232 |
| 2 | 54 | 73 |
| 3 | 191 | 201 |
| 4 | 66 | 50 |
| 5 | 239 | 141 |
| 6 | 137 | 79 |
| 7 | 148 | 48 |
| 8 | 249 | 38 |

Tabelle 4.7: Knapsack Objekte mit Gewicht und Profit (Daten aus [Nag15])

Eingabe- und Ausgabedaten

Eingabedaten: Gewichtsschranke und Elemente mit Gewicht und Nutzwert

Ausgabedaten: Zusammenstellung der Elemente mit dem höchsten Nutzwert

Einfluss der Parameter auf die Komplexität

Die Komplexität des Rucksack-Problems hängt von der Anzahl der Objekte ab, die Gewichtsschranke trägt nicht zur Komplexität bei.

Bekannte Algorithmen

- Backtracking Algorithmus
- Greedy Algorithmus
- Algorithmus von Nemhauser und Ullmann [Nag15]

Bekannte reale Probleme Es gibt einige reale Probleme, welche mit der Rucksack-Problem gelöst werden können [KPP04], hier eine Auswahl:

- Ausschneiden von verschiedenen Stücken aus einer Metall- oder Holzplatte: Optimale Nutzung der Fläche(n), damit am Schluss genug Einzelstücke für das Herstellen des Endproduktes vorhanden sind.

- Kreditvergabe: Optimale Ausnutzung des Kreditbudgets mit der Vergabe von Krediten an Kunden, welche einen Kredit über eine gewisse Höhe haben möchten und eine bestimmte Risikoeinstufung aufweisen.

4.2.6 Logik

Die in diesem Abschnitt aufgeführten Probleme sind der Vollständigkeit halber aufgelistet und beschrieben. Sie werden nicht für die weiteren Schritte der Schnittstelle verwendet, bilden jedoch die Grundpfeiler der NP-Vollständigkeit. Auf diese Grundpfeiler basieren zahlreiche Beweise der NP-Vollständigkeit von Problemen.

Erfüllbarkeitsproblems der Aussagenlogik (SAT)

Das Erfüllbarkeitsproblem der *Aussagenlogik* ist ein NP-vollständiges Problem. Dies wurde durch Stephen A. Cook in den 1970er Jahren bewiesen^[Coo71].

Beschreibung Englischer Name: Satisfiability (SAT)

Beim Erfüllbarkeitsproblem der Aussagenlogik ist zu überprüfen, ob eine beliebige aussagenlogische Formel erfüllbar ist.

Beispiel Gegeben sei eine aussagenlogische Formel 4.1.

Gesucht ist die Antwort auf die Erfüllbarkeit dieser Formel.

Die Tabelle 4.8 zeigt, dass die Formel für die Kombinationen 3, 4 und 8 erfüllbar ist.

$$(A \vee B) \wedge C \quad (4.1)$$

| Kombination-Nr. | A | B | C | $A \vee B$ | Resultat |
|-----------------|--------|--------|--------|------------|-------------|
| 1 | wahr | falsch | falsch | wahr | falsch |
| 2 | wahr | wahr | falsch | wahr | falsch |
| 3 | wahr | falsch | wahr | wahr | wahr |
| 4 | wahr | wahr | wahr | wahr | wahr |
| 5 | falsch | falsch | falsch | falsch | falsch |
| 6 | falsch | wahr | falsch | wahr | falsch |
| 7 | falsch | falsch | wahr | falsch | falsch |
| 8 | falsch | wahr | wahr | wahr | wahr |

Tabelle 4.8: Wahrheitstabelle zur aussagenlogischen Formel

3-SAT

Das 3-SAT Problem ist ein NP-vollständiges Problem. Dies wurde durch die Reduktion des SAT Problems bewiesen.

Beschreibung Englischer Name: 3-Satisfiability (3-SAT)

Das 3-SAT Problem ist eine Spezialfall des SAT Problems, es dürfen maximal 3 Literale in einer Klausel enthalten sein.

Beispiel Gegeben sei eine 3-SAT Formel 4.2.

Gesucht ist die Antwort auf die Erfüllbarkeit dieser Formel.

Die Tabelle 4.9 beweist, dass die Formel erfüllbar ist, lediglich für die Kombinationen 5, 11, 13 und 15 ist sie nicht korrekt.

$$(A \wedge B \wedge C) \vee (B \wedge \neg C \wedge D) \quad (4.2)$$

| Kombination-Nr. | A | B | C | D | $A \wedge B \wedge C$ | $B \wedge \neg C \wedge D$ | Resultat |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|----------------------------|-------------|
| 1 | wahr | falsch | falsch | wahr | wahr | wahr | wahr |
| 2 | wahr | wahr | falsch | wahr | wahr | wahr | wahr |
| 3 | wahr | falsch | wahr | wahr | wahr | wahr | wahr |
| 4 | wahr | wahr | wahr | wahr | wahr | wahr | wahr |
| 5 | falsch | falsch | falsch | wahr | falsch | wahr | falsch |
| 6 | falsch | wahr | falsch | wahr | wahr | wahr | wahr |
| 7 | falsch | falsch | wahr | wahr | wahr | wahr | wahr |
| 8 | falsch | wahr | wahr | wahr | wahr | wahr | wahr |
| 9 | wahr | falsch | falsch | falsch | wahr | wahr | wahr |
| 10 | wahr | wahr | falsch | falsch | wahr | wahr | wahr |
| 11 | wahr | falsch | wahr | falsch | wahr | falsch | falsch |
| 12 | wahr | wahr | wahr | falsch | wahr | wahr | wahr |
| 13 | falsch | falsch | falsch | falsch | falsch | wahr | falsch |
| 14 | falsch | wahr | falsch | falsch | wahr | wahr | wahr |
| 15 | falsch | falsch | wahr | falsch | wahr | falsch | falsch |
| 16 | falsch | wahr | wahr | falsch | wahr | wahr | wahr |

Tabelle 4.9: Wahrheitstabelle zur 3-SAT Formel

4.3 Übersicht Eingabe- und Ausgabedaten [R2]

Die Eingabe- und Ausgabedaten der Probleme sind sehr unterschiedlich und weisen unterschiedliche Komplexität auf. Um einen besseren Überblick zu erhalten, wurden sie in der Tabelle 4.10 zusammengefasst.

| Problem | Eingabedaten | Ausgabedaten |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Färbung (Graphtheorie) | 1. Knoten und ihre Kanten | 1. Knoten mit ihrer Färbung 2. k (Anzahl benötigter Farben) |
| Problem des Handlungsreisenden | 1. Startpunkt 2. Wegpunkte, welche passiert werden müssen | 1. Wegpunkte in der Reihenfolge der optimalen Route 2. Länge der Strecke |
| Briefträgerproblem | 1. Startpunkt 2. Knoten mit ihren Verbindungen mit Gewichtung | 1. Knoten in der Reihenfolge der minimalen Strecke 2. Länge der Strecke |
| Stundenplan-Erstellung | 1. Fächer 2. Lehrer 3. Klassen 4. Klassenzimmer 5. Stundenplan Rahmenbedingungen | 1. Einteilung der Fächer mit den dazugehörigen Klassen, Lehrern und Zimmern auf verschiedene Tage und Uhrzeiten, welche keine Konflikte enthält |
| Rucksack-Problem | 1. Gewichtsschranke 2. Elemente mit Gewicht und Nutzwert | 1. Zusammenstellung von den Elementen mit höchstem Nutzwert 2. Nutzwert |

Tabelle 4.10: Eingabe- und Ausgabedaten der ausgewählten Probleme

4.4 Beispiel für den Einfluss der Parameter auf die Komplexität [R1a]

Bei den vorgestellten Problemen wurde der Einfluss der Parameter auf die Komplexität der Probleme erwähnt. Um dies zu verdeutlichen wurde ein praktisches Beispiel anhand des Rucksack-Problems erstellt.

4.4.1 Ausgangslage

Das Rucksack-Problem hat zwei Eingabeparameter, zum einen die Gewichtsschranke und zum anderen die Elemente. Im Beispiel wurden verschiedene Anzahl Elemente verwendet und dies mit unterschiedlichen Gewichtsschranken kombiniert. Zum Vergleich wurde die Zeit gestoppt, welche der Brute Force-Algorithmus benötigt, um die optimale Lösung herauszufinden. Bei dieser Methode wird das Ergebnis zwar durch andere Prozesse auf dem Testsystem verfälscht, reicht jedoch für eine Veranschaulichung der Einflüsse.

4.4.2 Resultat

Die Berechnungszeiten waren ungenau und unterschiedlich. Das Resultat bestätigt jedoch bei jedem Versuch die Theorie, dass die Komplexität nur durch die Anzahl an Elementen beeinflusst wird. Die verschiedenen Berechnungszeiten wurden in der Tabelle 4.11 festgehalten. Mit einer höheren Gewichtsschranke bleibt die Berechnungszeit in etwa gleich, bei einer Erhöhung der Anzahl Elemente nimmt die Komplexität jedoch sehr schnell zu.

| Gewichtsschranke: | Anzahl an Elemente: | | | | |
|-------------------|---------------------|------|-------|--------|--------|
| | 10 | 15 | 18 | 20 | 22 |
| 10 | 4ms | 23ms | 129ms | 1079ms | 7267ms |
| 100 | 1ms | 16ms | 149ms | 1761ms | 6054ms |
| 1000 | 1ms | 7ms | 595ms | 1038ms | 6331ms |
| 10000 | 1ms | 7ms | 48ms | 583ms | 7174ms |

Tabelle 4.11: Berechnungszeiten bei verschiedenen Eingabeparametern für das Rucksack-Problem

In Abbildung 4.5 wird die exponentielle Steigerung der Berechnungsdauer mit zunehmender Anzahl an Elementen sehr schön verdeutlicht.

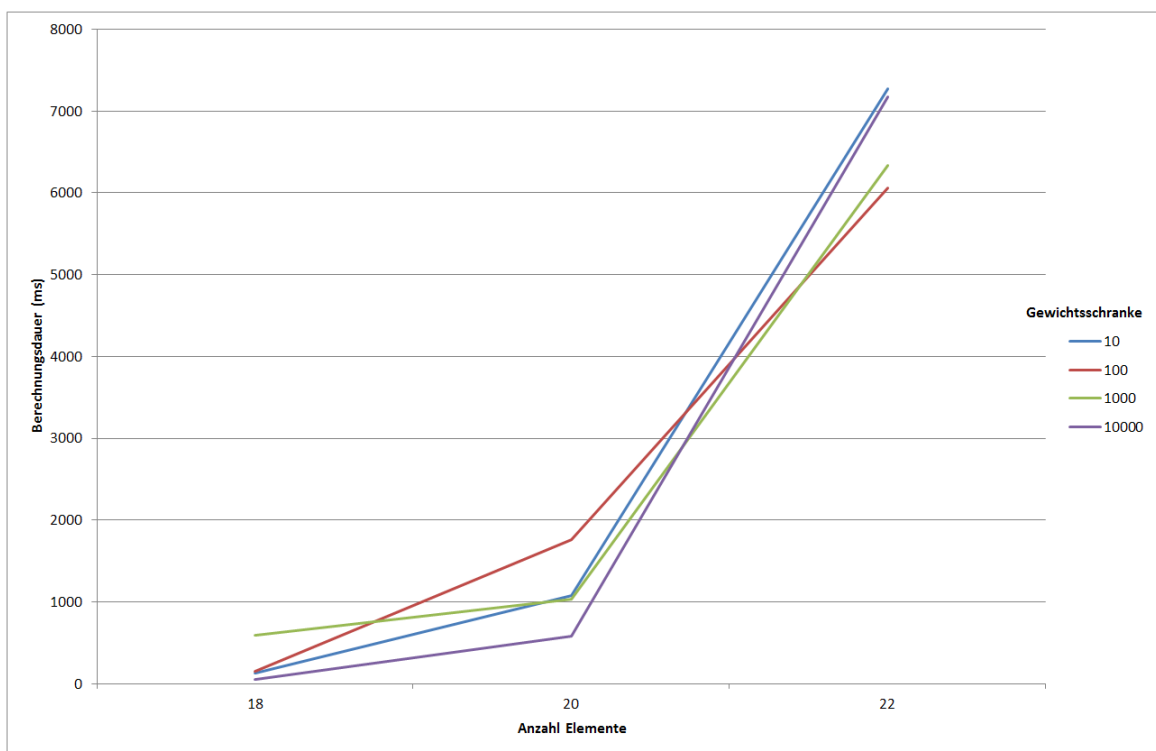


Abbildung 4.5: Berechnungszeiten für das Rucksack-Problem mit verschiedenen Eingabeparametern im Vergleich (eigene Darstellung)

5 Anforderungsdokument [R3]

Das Anforderungsdokument legt die Basis für die Implementation. Es ist für den Verlauf des Projekts wichtig, dass zu Beginn die Anforderungen aufgestellt werden. Bei der Erstellung des Anforderungsdokuments werden verschiedene Betrachtungsweisen aufgezeigt und die Anforderungen an das System in verschiedenen Detailstufen angeschaut.

5.1 Übersicht

In diesem Abschnitt wird die System- und Kontextabgrenzung dargelegt, die Systemumgebung beschrieben, die getroffenen Annahmen festgehalten und die verschiedenen Stakeholder mit ihren Erwartungen aufgelistet.

5.1.1 System- und Kontextabgrenzung

Der Systemkontext umfasst alle Aspekte, die für die Anforderungen des geplanten Systems relevant sind und nicht im Rahmen der Entwicklung dieses System gestaltet werden können.^[PR11]

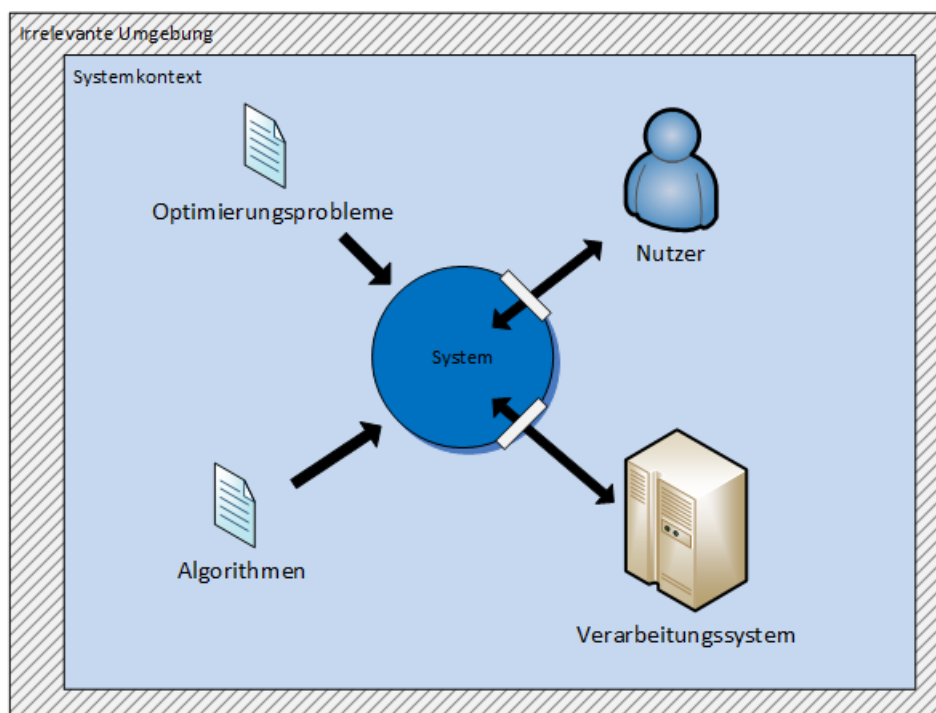


Abbildung 5.1: Systemkontext (eigene Darstellung)

Der Systemkontext (siehe Abbildung 5.1) zeigt, dass das System relevante Schnittstellen zu den Nutzern und zum Verarbeitungssystem hat. Das System muss Daten für das Verarbeitungssystem zur Verfügung stellen und auch solche annehmen. Zudem wird das System von den Nutzern, Optimierungsproblemen und den dazugehörigen Algorithmen beeinflusst.

5.1.2 Systemumgebung

Abbildung 5.2 zeigt die Systemumgebung, welche die Ausgangslage für das Projekt definiert. Am Anfang des Projekts war bekannt, dass Nutzer und ein Verarbeitungssystem Dienste des zu erstellenden Systems beziehen werden. Die genaue Ausprägung dieser Dienste werden in diesem Kapitel behandelt.

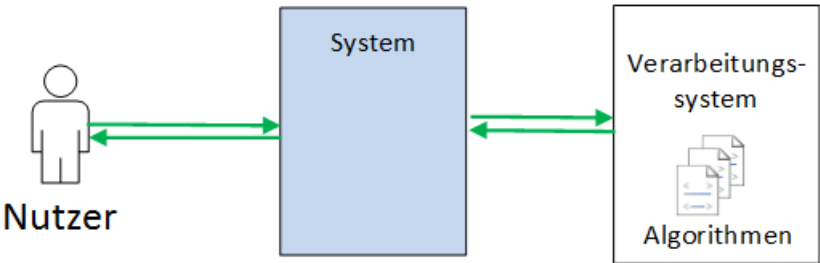


Abbildung 5.2: Systemumgebung (eigene Darstellung)

5.1.3 Stakeholder

Zum Erfassen aller Nutzergruppen, die Einfluss auf das Projekt haben können, dient die Stakeholder-Analyse. Zudem ermöglicht sie die Erfassung aller Gruppen, die potenziell Anforderungen an das Projekt stellen. In Tabelle 5.1 wurden die Stakeholder dieses Projekts zusammengetragen und ihre Erwartungen, ihre Einstellung und ihr Einfluss gegenüber dem Projekt festgehalten. Da es sich um eine Machbarkeitsanalyse handelt, befinden sich nur der Auftraggeber, ein einzelner potenzieller Kunde und der Entwickler in der Auflistung.

| Name | Erwartung | Einstellung | Einfluss |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| | | -Positiv -Neutral -Negativ | -Hoch -Mittel -Niedrig |
| Phil Hofmann (Vorsteher der Geschäftsführung der 200ok GmbH) | Der Auftraggeber in diesem Projekt erwartet von der Machbarkeitsanalyse Informationen für ein mögliches Projekt zur Umsetzung der Gesamtidee. | Positiv | Hoch |
| Potenzieller Kunde | Er wünscht sich eine einfache Abwicklung für seine Probleme, er möchte sich nicht mit Algorithmen und theoretischer Informatik beschäftigen. | Positiv | Mittel |
| Entwickler | Er hofft, dass sich die Schnittstelle wie gewünscht umsetzen lässt und aus der Machbarkeitsanalyse ein weiteres Projekt entsteht. | Positiv | Mittel |

Tabelle 5.1: Liste der Stakeholder

5.2 Anforderungen

Zum Erfassen der Anforderungen an das System wurden zuerst verschiedene Use Cases definiert, mit deren Hilfe anschliessend der Anforderungskatalog erstellt werden konnte.

5.2.1 Use Cases

Das Use Case Diagramm (siehe Abbildung 5.3) zeigt einen Akteur, ein System und sechs Use Cases, welche für diese Arbeit relevant sind.

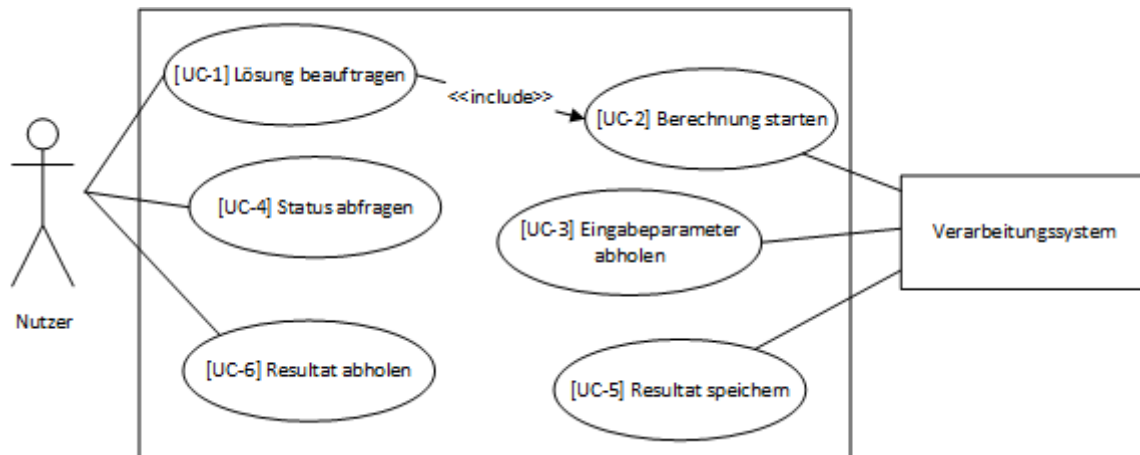


Abbildung 5.3: Use-Case Diagramm (eigene Darstellung)

Alle Use Cases wurden anhand der Vorlage in Tabelle 5.2 spezifiziert. Diese Vorlage basiert auf Angaben von ^[PR11].

| Attribute | Beschreibung |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichner | Eindeutiger Bezeichner |
| Name | Eindeutiger Name des Use Case |
| Beschreibung | Komprimierte Beschreibung |
| Auslösendes Ereignis | Ereignis, das den Use Case auslöst. |
| Akteure | Auflistung der Akteure, die mit dem Use Case in Beziehung stehen. |
| Vorbedingung | Liste notwendiger Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen, bevor die Ausführung des Use Case beginnen kann. |
| Nachbedingung | Liste von Zuständen, in denen sich das System unmittelbar nach der Ausführung des Hauptszenarios befindet. |
| Ergebnis | Beschreibung der Ausgaben, die während der Ausführung des Use Case erzeugt werden. |
| Hauptszenario | Beschreibung des Hauptszenarios des Use Case |
| Alternativszenarien | Beschreibung von Alternativszenarien des Use Case oder Angabe der auslösenden Ereignisse. Hier gelten oftmals andere Nachbedingungen. |

Tabelle 5.2: Vorlage für Use Case Spezifikation

| Bezeichner | UC-1 |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name | Lösung beauftragen |
| Beschreibung | Ein Nutzer möchte eine Lösung eines Problem mit spezifischen Parametern beauftragen. |
| Auslösendes Ereignis | Nutzer möchte ein Problem lösen. |
| Akteure | Nutzer |
| Vorbedingung | Das System bietet zur Lösung dieses Problems eine Schnittstelle. |
| Nachbedingung | Das System hat die nötigen Informationen für die Lösung des Problems und der Nutzer erhält eine ID, mit welcher er den Status bzw. das Resultat abfragen kann. |
| Ergebnis | Erfassung der Informationen für die Lösung des Problems |
| Hauptszenario | <ol style="list-style-type: none"> 1. Der Nutzer ruft die Funktion für das zu lösende Problem mit den Parametern auf. 2. Das System speichert die Parameter für die weitere Verarbeitung. 3. Der Nutzer erhält eine ID für das Abrufen des Status bzw. des Resultats. |
| Alternativszenarien | <p>3a Der Nutzer erhält eine Fehlermeldung, wenn das Problem nicht korrekt erfasst werden konnte.</p> |

Tabelle 5.3: Use Case UC-1: Lösung beauftragen

| Bezeichner | UC-2 |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name | Berechnung starten |
| Beschreibung | Das System startet die Berechnung beim Verarbeitungssystem. |
| Auslösendes Ereignis | Nutzer möchte ein Problem lösen. |
| Akteure | Verarbeitungssystem |
| Vorbedingung | Die Informationen für die Lösung des Problems sind erfasst. |
| Nachbedingung | Das Verarbeitungssystem beginnt mit der Berechnung. |
| Ergebnis | Starten der Berechnung |
| Hauptszenario | <ol style="list-style-type: none"> 1. Das System startet die Berechnung. 2. Das System übergibt eine ID für das Abrufen der abgelegten Daten. |
| Alternativszenarien | <p>2a Das System speichert die Fehlermeldung, falls das Starten der Berechnung fehlschlägt.</p> |

Tabelle 5.4: Use Case UC-2: Berechnung starten

| Bezeichner | UC-3 |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name | Eingabe Parameter abholen |
| Beschreibung | Das Verarbeitungssystem benötigt für die Lösung des Problems die Eingabeparameter. |
| Auslösendes Ereignis | Das Verarbeitungssystem startet eine neue Berechnung. |
| Akteure | Verarbeitungssystem |
| Vorbedingung | Das Verarbeitungssystem wurde angestossen, das Problem zu lösen. |
| Nachbedingung | Das Verarbeitungssystem hat die Eingabeparameter erhalten. |
| Ergebnis | Erhalt von Eingabeparametern |
| Hauptszenario | <ol style="list-style-type: none"> 1. Das Verarbeitungssystem fordert die Eingabeparameter für das zu lösende Problem an. 2. Das System leitet die Eingabeparameter weiter. 3. Das Verarbeitungssystem erhält die Eingabeparameter. |
| Alternativszenarien | <p>2a Das System liefert eine Fehlermeldung zurück, falls keine Eingabeparameter vorhanden sind.</p> |

Tabelle 5.5: Use Case UC-3: Eingabe Parameter abholen

| Bezeichner | UC-4 |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name | Status abfragen |
| Beschreibung | Der Nutzer kann den Status einer Berechnung abfragen, da die Verarbeitung einige Zeit benötigen könnte. |
| Auslösendes Ereignis | Der Nutzer möchte den Status der Berechnung wissen. |
| Akteure | Nutzer |
| Vorbedingung | Der Nutzer hat bereits eine Berechnung beauftragt und kennt die ID. |
| Nachbedingung | Der Nutzer kennt den Status der Berechnung. |
| Ergebnis | Kenntnis des Status |
| Hauptszenario | <ol style="list-style-type: none"> 1. Der Nutzer fragt den Status einer Berechnung ab. 2. Das System fragt den Status in der Datenbank ab. 3. Das System sendet den Status zurück. 4. Der Nutzer erhält den Status. |
| Alternativszenarien | <p>3a Das System sendet eine Fehlermeldung zurück, falls der Status nicht ermittelt werden kann.</p> |

Tabelle 5.6: Use Case UC-4: Status abfragen

| Bezeichner | UC-5 |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name | Resultat speichern |
| Beschreibung | Um das Resultat nicht zu verlieren, muss das Ergebnis nach der Berechnung gespeichert werden. |
| Auslösendes Ereignis | Das Verarbeitungssystem möchte das Resultat speichern. |
| Akteure | Verarbeitungssystem |
| Vorbedingung | Das Verarbeitungssystem hat ein Resultat berechnet. |
| Nachbedingung | Das Resultat ist gespeichert. |
| Ergebnis | Speicherung des Resultats |
| Hauptszenario | <ol style="list-style-type: none"> 1. Das Verarbeitungssystem schickt das Resultat der Berechnung an das System. 2. Das System erhält das Resultat. 3. Das System speichert das Resultat. 4. Das System bestätigt das Erhalten des Resultats. 5. Das Verarbeitungssystem erhält die Bestätigung. |
| Alternativszenarien | <ol style="list-style-type: none"> 4a Das System liefert eine Fehlermeldung zurück, wenn das Resultat nicht korrekt gespeichert werden konnte. |

Tabelle 5.7: Use Case UC-5: Resultat speichern

| Bezeichner | UC-6 |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Name | Resultat abholen |
| Beschreibung | Der Nutzer holt das Resultat zu einem bestimmten Zeitpunkt ab. |
| Auslösendes Ereignis | Der Nutzer möchte das Resultat der Berechnung abholen. |
| Akteure | Nutzer |
| Vorbedingung | Der Nutzer hat bereits eine Berechnung beauftragt und kennt die ID. |
| Nachbedingung | Der Nutzer hat das Resultat erhalten. |
| Ergebnis | Erhalt des Resultats |
| Hauptszenario | <ol style="list-style-type: none"> 1. Der Nutzer fragt das Resultat der Berechnung ab. 2. Das System sucht das Resultat der Berechnung. 3. Das System sendet das Resultat. 4. Der Nutzer erhält das Resultat. |
| Alternativszenarien | <ol style="list-style-type: none"> 3a Das System sendet eine Fehlermeldung, wenn kein Resultat vorhanden ist. |

Tabelle 5.8: Use Case UC-6: Resultat abholen

5.2.2 Anforderungen

Alle Anforderungen wurden anhand der folgenden Vorlage (siehe Tabelle 5.9) erfasst. Diese Vorlage basiert auf Angaben von^[PR11] und wurde um eigene Attribute erweitert.

| Bezeichner | Eindeutiger Identifikator |
|---------------------|--------------------------------------------------------------|
| Priorität | Must, Should, Nice to have |
| Anforderungstyp | Funktionale Anforderung, Qualitätsanforderung, Randbedingung |
| Name | Eindeutiger, charakterisierender Name |
| Use Case | Referenz zum zugehörigen Use Case |
| Beschreibung | Beschreibung der Anforderung |
| Begründung | Bedeutung der Anforderung für das geplante System |
| Akzeptanz Kriterium | Messbare Abnahmekriterien |
| Abhängigkeiten | Referenz zu anderen Anforderungen |

Tabelle 5.9: Vorlage für Anforderungen

Die Beschreibung der Anforderungen wurden zusätzlich mit der Satzschablone in Abbildung 5.4) aus^[PR11] erstellt. Dies hat den Vorteil, dass die Anforderungen normiert und exakt sind. Die Abstufungen „muss“ und „sollte“ werden verwendet, um die Wichtigkeit der Anforderungen auszudrücken.

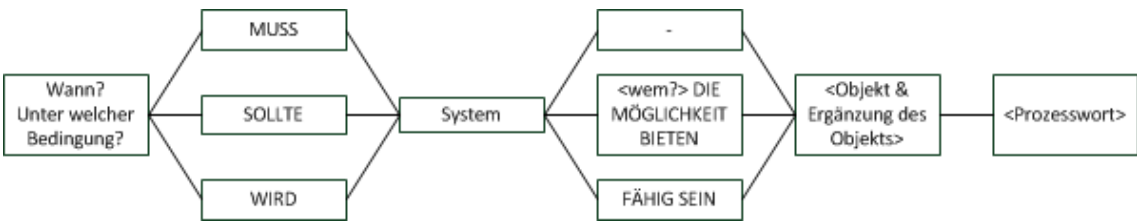


Abbildung 5.4: Satzschablone (Grafik entnommen aus^[PR11])

Funktionale Anforderungen

Mit den funktionalen Anforderungen wird festgelegt, was die Schnittstelle tun sollte.

| | |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichner | RE-F1 |
| Priorität | Must |
| Anforderungstyp | Funktionale Anforderung |
| Name | Bereitstellung der Schnittstellen für Probleme mit hoher Laufzeitkomplexität |
| Use Case | Use Case UC-1: Lösung beauftragen |
| Beschreibung | Das System muss dem Nutzer die Möglichkeit bieten, die Lösung verschiedener Probleme zu beauftragen. |
| Begründung | Die Schnittstellen ist die Anlaufstelle des Nutzers. Er beauftragt das System, eine Berechnung zu starten. |
| Akzeptanz Kriterium | <ol style="list-style-type: none"> 1. Der Nutzer kann eine Schnittstelle für die bereitgestellten Berechnungsfunktionen ansprechen. |
| Abhängigkeiten | - |

Tabelle 5.10: Anforderung RF-F1

| | |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichner | RE-F2 |
| Priorität | Must |
| Anforderungstyp | Funktionale Anforderung |
| Name | Speicherung der Eingabeparameter |
| Use Case | Use Case UC-1: Lösung beauftragen |
| Beschreibung | Falls eine Berechnung in Auftrag gegeben wurde, muss das System fähig sein, die Eingabeparameter abzuspeichern. |
| Begründung | Die Berechnung wird von einem anderen System ausgeführt. Damit diese auf die Parameter zugreifen können, müssen die Daten persistiert werden. |
| Akzeptanz Kriterium | <ol style="list-style-type: none"> 1. Die Parameter sind persistent. 2. Es gibt eine Fehlermeldung, falls bei der Speicherung etwas fehlschlägt oder die Eingabeparameter nicht gültig sind. |
| Abhängigkeiten | |

Tabelle 5.11: Anforderung RF-F2

| | |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichner | RE-F3 |
| Priorität | Must |
| Anforderungstyp | Funktionale Anforderung |
| Name | Rückgabe einer ID bei Beauftragung |
| Use Case | Use Case UC-1: Lösung beauftragen |
| Beschreibung | Falls eine Berechnung in Auftrag gegeben wurde, muss das System dem Ersteller eine ID zurückliefern. |
| Begründung | Die ID hilft dem Nutzer den Status der Berechnung abzuholen und wird am Schluss für das Resultat benötigt. |
| Akzeptanz Kriterium | <ol style="list-style-type: none"> 1. Der Nutzer erhält nach dem Start einer Berechnung eine ID. |
| Abhängigkeiten | Anforderung RF-F2 |

Tabelle 5.12: Anforderung RF-F3

| | |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichner | RE-F4 |
| Priorität | Must |
| Anforderungstyp | Funktionale Anforderung |
| Name | Start der Berechnung |
| Use Case | Use Case UC-2: Berechnung starten |
| Beschreibung | Falls eine Berechnung in Auftrag gegeben wurde, muss das System fähig sein, die Berechnung beim Verarbeitungssystem zu starten. |
| Begründung | Der Nutzer kennt das Verarbeitungssystem nicht, das System muss dem Verarbeitungssystem den Start-Befehl geben. |
| Akzeptanz Kriterium | <ol style="list-style-type: none"> 1. Der Befehl für den Start wird versendet und die ID dabei übergeben. 2. Die Fehlermeldung bei einem Fehlversuch wird gespeichert. |
| Abhängigkeiten | Anforderung RF-F2 |

Tabelle 5.13: Anforderung RF-F4

| | |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichner | RE-F5 |
| Priorität | Must |
| Anforderungstyp | Funktionale Anforderung |
| Name | Abfrage der Eingabeparameter |
| Use Case | Use Case UC-3: Eingabe Parameter abholen |
| Beschreibung | Falls eine Berechnung in Auftrag gegeben wurde, muss das System dem Verarbeitungssystem die Möglichkeit bieten, die Eingabeparameter abzufragen. |
| Begründung | Damit das Verarbeitungssystem die Berechnung durchführen kann, braucht es die Eingabeparameter. |
| Akzeptanz Kriterium | <ol style="list-style-type: none"> 1. Das Verarbeitungssystem erhält die Eingabeparameter. 2. Das Verarbeitungssystem erhält eine Fehlermeldung, falls keine Eingabeparameter vorhanden sind. |
| Abhängigkeiten | Anforderung RF-F2 |

Tabelle 5.14: Anforderung RF-F5

| | |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichner | RE-F6 |
| Priorität | Should |
| Anforderungstyp | Funktionale Anforderung |
| Name | Abfrage des Status |
| Use Case | Use Case UC-4: Status abfragen |
| Beschreibung | Falls eine Berechnung in Auftrag gegeben wurde, sollte das System dem Nutzer die Möglichkeit bieten, den Status der Berechnung abzufragen. |
| Begründung | Da die Verarbeitung asynchron läuft, weiss der Benutzer nicht, wann seine Berechnung fertig ist. |
| Akzeptanz Kriterium | <ol style="list-style-type: none"> 1. Der Nutzer erhält einen Status seiner Berechnung. |
| Abhängigkeiten | Anforderung RF-F3 |

Tabelle 5.15: Anforderung RF-F6

| | |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichner | RE-F7 |
| Priorität | Nice to have |
| Anforderungstyp | Funktionale Anforderung |
| Name | Registrierung eines Dienstes zur Benachrichtigung für Statusänderungen |
| Use Case | Use Case UC-4: Status abfragen |
| Beschreibung | Falls eine Berechnung in Auftrag gegeben und dazu ein Dienst zur Benachrichtigung eingetragen wurde, sollte das System den Nutzer über eine Änderung des Status mittels dieses Dienstes informieren. |
| Begründung | Da die Verarbeitung lange dauern könnte, weiss der Benutzer nicht, wann seine Berechnung fertig ist. Um ein ständiges Pollen zu vermeiden, können Dienst zur Benachrichtigung (zum Beispiel WebHooks) verwendet werden. |
| Akzeptanz Kriterium | <ol style="list-style-type: none"> 1. Der Nutzer wird über die Änderung des Status auf dem eingetragenen Dienst informiert. |
| Abhängigkeiten | Anforderung RF-F3 |

Tabelle 5.16: Anforderung RF-F7

| | |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichner | RE-F8 |
| Priorität | Must |
| Anforderungstyp | Funktionale Anforderung |
| Name | Speicherung des Resultats |
| Use Case | Use Case UC-5: Resultat speichern |
| Beschreibung | Nach der Berechnung muss das System dem Verarbeitungssystem die Möglichkeit bieten, das Resultat abspeichern zu können. |
| Begründung | Das Resultat muss, bis der Nutzer es abholt, zwischengespeichert werden. |
| Akzeptanz Kriterium | <ol style="list-style-type: none"> 1. Das Verarbeitungssystem kann das Resultat abspeichern. 2. Das Verarbeitungssystem erhält eine Fehlermeldung, falls das Speichern fehlgeschlagen ist. |
| Abhängigkeiten | Anforderung RF-F4 |

Tabelle 5.17: Anforderung RF-F8

| | |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichner | RE-F9 |
| Priorität | Must |
| Anforderungstyp | Funktionale Anforderung |
| Name | Abfrage des Resultats |
| Use Case | Use Case UC-6: Resultat abholen |
| Beschreibung | Das System muss dem Nutzer die Möglichkeit bieten, das Resultat der Berechnung abzufragen. |
| Begründung | Der Nutzer möchte das Resultat der Berechnung wissen. |
| Akzeptanz Kriterium | <ol style="list-style-type: none"> 1. Der Nutzer erhält das Resultat der Berechnung. 2. Der Nutzer erhält eine entsprechende Fehlermeldung, wenn beim Bereitstellen des Resultats ein Fehler aufgetreten ist. |
| Abhängigkeiten | Anforderung RF-F3 |

Tabelle 5.18: Anforderung RF-F9

Qualitätsanforderung

Die erfassten Qualitätsanforderungen definieren, was für Eigenschaften die Schnittstelle haben sollte.

| | |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichner | RE-NF1 |
| Priorität | Should |
| Anforderungstyp | Qualitätsanforderung |
| Name | Prozess-agnostische Schnittstelle |
| Use Case | Use Case UC-1: Lösung beauftragen |
| Beschreibung | Das System sollte fähig sein, die Lösung eines Problems so bereitzustellen, dass kein Wissen über den Verarbeitungsprozess erforderlich ist. |
| Begründung | Der Verarbeitungsprozess kann spezifisch und von Problem zu Problem unterschiedlich sein, der Nutzer sollte eine möglichst einfache Schnittstelle dafür haben. |
| Akzeptanz Kriterium | 1. Das Interface kann verwendet werden, ohne dass das Verarbeitungssystem bekannt ist. |
| Abhängigkeiten | - |

Tabelle 5.19: Qualitätsanforderung RF-NF1

| | |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichner | RE-NF2 |
| Priorität | Should |
| Anforderungstyp | Qualitätsanforderung |
| Name | Entgegennahme generischer Eingabeparameter |
| Use Case | Use Case UC-1: Lösung beauftragen |
| Beschreibung | Das System sollte in der Lage sein, unterschiedliche Ausprägungen von Eingabeparametern entgegenzunehmen. |
| Begründung | Da es bei den Problemen unterschiedliche Ausprägungen gibt, ist auf eine generische Deserialisierung der Eingabeparameter hinzuarbeiten. |
| Akzeptanz Kriterium | 1. Unterschiedliche Ausprägungen eines Problems benutzen das gleiche API. |
| Abhängigkeiten | - |

Tabelle 5.20: Qualitätsanforderung RF-NF2

| | |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichner | RE-NF3 |
| Priorität | Should |
| Anforderungstyp | Qualitätsanforderung |
| Name | Speicherung generischer Eingabeparameter |
| Use Case | Use Case UC-1: Lösung beauftragen |
| Beschreibung | Das System sollte Eingabeparameter einheitlich abspeichern. |
| Begründung | Da es viele unterschiedliche Probleme gibt, ist eine generische Persistierung anzustreben. |
| Akzeptanz Kriterium | 1. Unterschiedliche Probleme haben kein abweichendes Persistierungsschema. |
| Abhängigkeiten | - |

Tabelle 5.21: Qualitätsanforderung RF-NF3

| | |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bezeichner | RE-NF4 |
| Priorität | Should |
| Anforderungstyp | Qualitätsanforderung |
| Name | Erweiterbare Schnittstelle |
| Use Case | - |
| Beschreibung | Das System sollte einfach erweiterbar sein. |
| Begründung | Falls ein Nachfrage für ein anderes Problem besteht, wäre es gut, wenn die Schnittstelle mit wenig Aufwand erweitert werden könnte. |
| Akzeptanz Kriterium | 1. Die Schnittstelle kann mit wenig Aufwand erweitert werden. |
| Abhängigkeiten | - |

Tabelle 5.22: Qualitätsanforderung RF-NF4

5.2.3 Zusammenfassung der Anforderungen

Die Priorität der einzelnen Anforderungen ist wichtig, falls nicht alle Anforderungen umgesetzt werden können. Die Priorität wurde zusammen mit den Stakeholdern festgelegt und in Tabelle 5.23 zur besseren Übersicht zusammengetragen. Falls es nicht möglich gewesen wäre, alle Anforderungen in der Zeit umzusetzen, wären sie anhand dieser Listen zurückgestellt worden.

| Bezeichner | Name | Priorität |
|------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| RE-F1 | Bereitstellung der Schnittstellen für Probleme mit hoher Laufzeitkomplexität | Must |
| RE-F2 | Speicherung der Eingabeparameter | Must |
| RE-F3 | Rückgabe einer ID bei Beauftragung | Must |
| RE-F4 | Start der Berechnung | Must |
| RE-F5 | Abfrage der Eingabeparameter | Must |
| RE-F6 | Abfrage des Status | Should |
| RE-F7 | Registrierung eines Dienstes zur Benachrichtigung für Statusänderungen | Nice to have |
| RE-F8 | Speicherung des Resultats | Must |
| RE-F9 | Abfrage des Resultats | Must |
| RE-NF1 | Prozess-agnostische Schnittstelle | Should |
| RE-NF2 | Entgegennahme generischer Eingabeparameter | Should |
| RE-NF3 | Speicherung generischer Eingabeparameter | Should |
| RE-NF4 | Erweiterbare Schnittstelle | Should |

Tabelle 5.23: Priorität der Anforderungen

5.2.4 Annahmen

Zwischen dem Endnutzer und dem zu erstellenden System existiert noch eine Sicherheitsschicht, welcher nicht Teil dieser Arbeit ist. Später wird dieses Projekt allenfalls um diese Sicherheitsschicht erweitert oder eine übergeordnete Schnittstelle erstellt, welche diese anspricht.

Je nach Implementierung der Algorithmen ist das Ansteuern und die Aufbereitung der Daten unterschiedlich. Eine Referenzimplementierung zu jedem Problem zu finden, stellte sich als schwierig heraus. Deshalb wurden die Ein- und Ausgabe-Schemata der Algorithmen aus der Literaturrecherche abgeleitet.

6 Konzept der Schnittstelle [R4]

In diesem Kapitel wird auf die Struktur und das Konzept der Schnittstelle eingegangen. Dieses Konzept legt die Grundlage für die Umsetzung und ist somit entscheidend für die Lösung der Aufgabe.

6.1 Übersicht

Die Systemumgebung (siehe Abbildung 6.1) hat zwei Berührungspunkte mit der Aussenwelt. Der eine ist zum Nutzer, der andere zu einem Verarbeitungssystem. Um die Daten zu speichern, wird eine Datenbank benötigt. Dadurch wird ein asynchroner Ablauf und ein mehrfaches Abfragen der Daten ermöglicht.

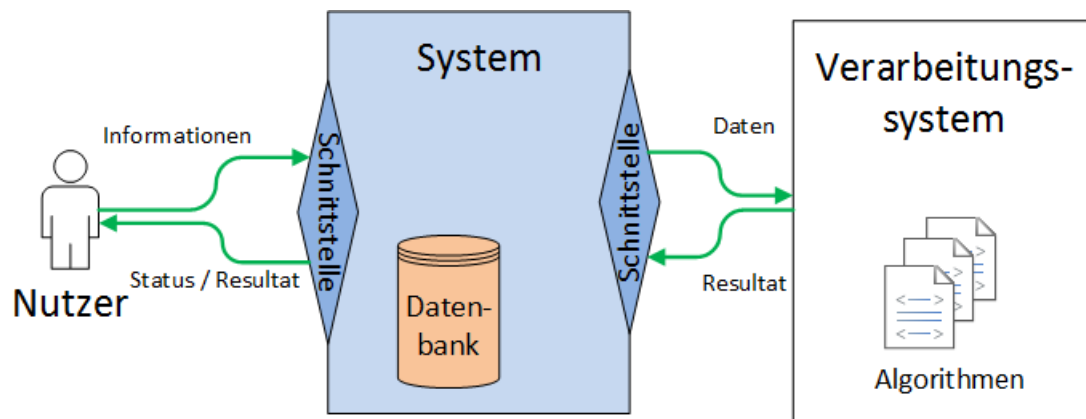


Abbildung 6.1: Systemübersicht (eigene Darstellung)

6.2 Konzept

Das Konzept sollte einfach und flexibel sein, damit das System möglichst schnell erweitert werden kann. Beim Betrachten der Probleme und der Abläufe wurde bemerkt, dass die Vorgänge Ähnlichkeiten aufweisen. Die Daten werden jeweils angenommen und für einen bestimmten Algorithmus aufbereitet. Das Verarbeitungssystem schickt das Resultat zurück und dieses wird dann wieder umgewandelt, so dass es für den Nutzer brauchbar ist. Es finden zwei Umwandlungen statt. Die Umwandlungen an sich sind von Problem zu Problem verschieden, es gibt jedoch auch dort gewisse Ähnlichkeiten. Für den Aufbau des Systems wurde das *Domain-Driven Design* (DDD) gewählt, da es sich in der Entwicklungswelt etabliert hat (siehe ^[Eva04] [GKRS13]). In Abbildung 6.2 wird der Aufbau des Systems gezeigt. Die *Domänensprache* des Nutzers wird mit Hilfe des Controllers, Entities und der Translators auf die Domänensprache der Algorithmen abgebildet.

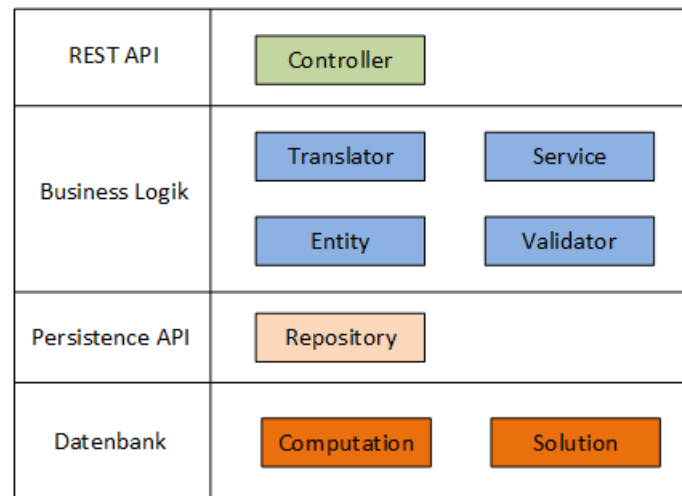


Abbildung 6.2: Architekturaufbau des Systems (eigene Darstellung)

6.2.1 REST API

Für die Schnittstelle wird ein *Representational State Transfer* (REST) *Application Programming Interface* (API) erstellt, welches die nötigen Funktionen bietet. Das API funktioniert nach dem REST De-facto-Standard (siehe^[Mas11]). Falls Fehler auftreten, werden *HTTP-Statuscodes* verwendet, um diese an den Aufrufer weiterzugeben.

6.2.2 Business Logik

Die Business Logik besteht aus Translator, Service, Entity und Validator von den jeweiligen Problemen.

Translator Es gibt jeweils ein ‘ComputationTranslator’ für die Umwandlung vom Nutzer hin zum Algorithmus, in diesem Translator werden die Daten für den Algorithmus aufbereitet. Daneben gibt es einen ‘SolutionTranslator’ für die Umwandlung vom Algorithmus zurück in das System, bei welchem das Resultat in ein menschenlesbares Resultat umgewandelt wird. In den Translators steckt die ganze Logik. Es fließt ein, wie der Algorithmus die Daten für die Verarbeitung benötigt und wie das Resultat zurück kommt. Es wäre zum Beispiel möglich, die Daten in Kombinationen für einen evolutionären Algorithmus umzuwandeln. Damit würde theoretisch ein generischer evolutionärer Algorithmus für alle Probleme ausreichen, jedoch ist das nach dem No-free-Lunch Theorem^[WM97] unmöglich. Ebenfalls möglich wäre eine Umwandlung des Stundenplanproblems auf ein Knotenfärbungsproblem und somit könnte der gleiche Algorithmus angesprochen werden (vergleiche^[Abd06]). Zusätzlich kann im Translator das Resultat mit zusätzlichen Informationen, zum Beispiel Statistiken, angereichert werden. Die Möglichkeiten mit dem Konzept der Translators ist sehr vielfältig.

Service Der Service ist zentraler Dreh- und Angelpunkt, er spricht über das Repository die Datenbank an, startet die Umwandlungen und Validierungen und gibt die sequentielle Abfolge vor. Er kann sehr generisch gehalten werden und benötigt keine problemspezifische Methoden. Zu den Services gehören auch die Solver-Klassen, welche für das Starten der jeweiligen Algorithmen zuständig sind.

Entity Die Entitäten repräsentieren die Datenstruktur der Algorithmen, der Nutzereingaben oder der Resultate. Mit den Entitäten wird gerechnet und ihr Zustand wird in der Datenbank persistiert. Für die Erstellung der Entitäten wurde für jedes Problem analysiert, wie die Parameter am besten eingegeben werden und wie diese dann vom Algorithmus gebraucht werden. Weiter wurde ein nützliches Format für die verschiedenen Resultate ermittelt.

Validator Der Validator entscheidet, ob eine Lösung gültig ist oder nicht. Die Validatoren wurden erstellt, um bei der Entwicklung der Algorithmen die Resultate überprüfen zu können und um manuell erstellte Lösungen zu testen. Grundsätzlich könnte ein Algorithmus geschrieben werden, welcher sich nur auf die Antwort des Service verlässt und so lange neue Kombinationen versucht, bis die Schnittstelle keine Fehler mehr findet. Wie bereits im Abschnitt 4.1 erklärt, kann jedes NP-vollständige Problem in polynomialer Zeit validiert werden. Weiter werden im Validator Angaben überprüft, welche der Algorithmus eventuell nicht berücksichtigen konnte. Dies hilft dem Nutzer die Qualität des Resultats abzuschätzen.

6.2.3 Persistence API

Die Abstraktion der Datenbank wird mittels eines Persistence APIs, welches mit der Datenbank interagiert, realisiert. Dieses API ist für das Laden und Speichern der Daten verantwortlich und bietet die Möglichkeit, spezifische Abfragen auszuführen. Diese Funktionalitäten werden in Entity-spezifischen Repositories zur Verfügung gestellt.

6.2.4 Datenbank

Jedes Problem hat seine eigene Ausprägung von Computation und Solution, welche abgespeichert werden müssen. Die Datenbank sollte, wenn möglich, eine ähnliche Flexibilität wie das Programm aufweisen. Zum überwiegenden Teil sind nur Einfüge-Operationen notwendig, nur selten wird ein Status einer Berechnung geändert. Pro Berechnung wird jeweils nur ein Algorithmus angesetzt, demnach gibt es keine gleichzeitigen Zugriffe auf die Ressourcen. Dies wäre jedoch auch kein Problem, da die Resultate separat gespeichert und nicht verändert werden. Die Vorgänge benötigen somit nicht zwingend eine transaktionale Unterstützung seitens der Datenbank. Die Daten werden immer in der Nutzer-Sicht gespeichert, damit jederzeit Algorithmus unabhängig auf die Daten zugreifen werden kann.

6.2.5 Ablauf

In Abbildung 6.3 wird der Ablauf des ganzen Vorganges und die Interaktion mit dem Nutzer und dem Verarbeitungssystem verdeutlicht. Die Translators, welche in dem Prototyp verwendet werden, sind nur eine Möglichkeit, welche dieses Konzept bietet. Generell baut dieses Konzept auf eine pre- und post-Aktion vor bzw. nach dem Starten des Algorithmus auf.

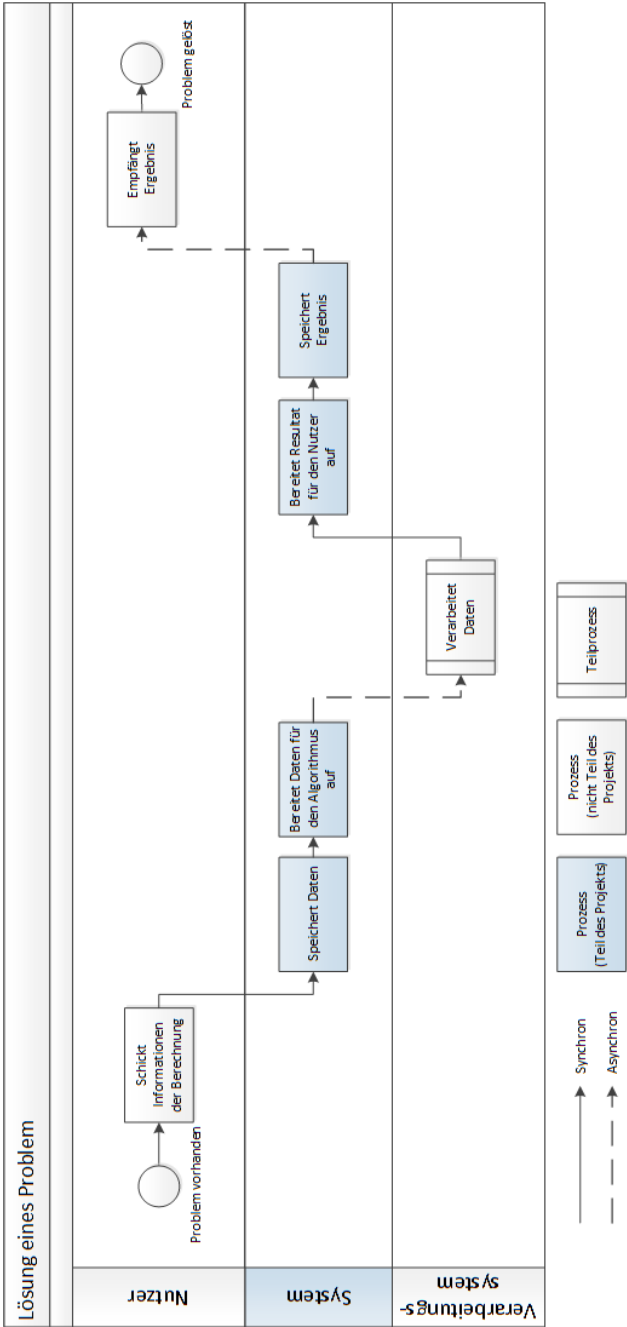


Abbildung 6.3: Flussdiagramm des Arbeitsablaufs (eigene Darstellung)

Die Abbildung 6.4 zeigt das Sequenzdiagramm für den Start einer Berechnung. Alle Komponenten mit '{Problem}' sind spezifische Problem-Komponenten, die anderen sind generische. Bei Speichern einer Berechnung wird der Status 'CREATED' gesetzt. Nach dem Speichern wird über die 'Solver'-Komponente asynchron das Verarbeitungssystem gestartet und der Status auf 'STARTED' gesetzt. Das Verarbeitungssystem holt sich die benötigten Informationen. Der Controller lädt die Parameter vom Service, dieser wiederum lädt es vom Repository und wandelt es für den Algorithmus um.

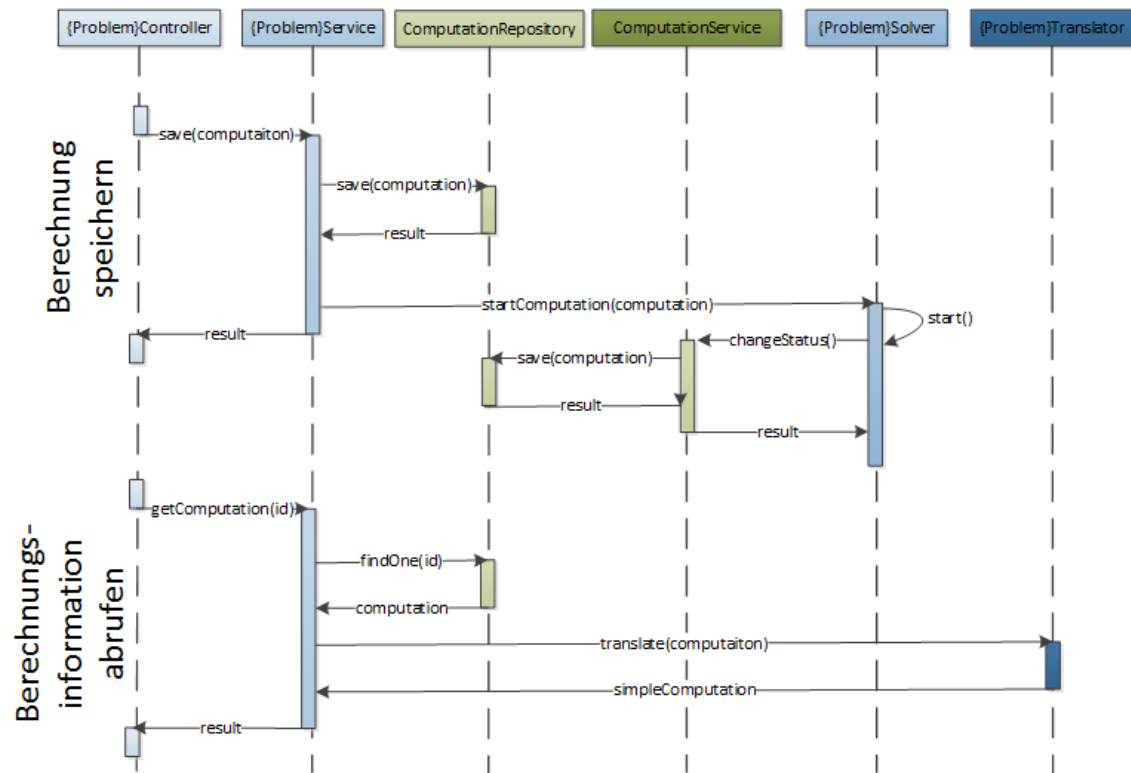


Abbildung 6.4: Start einer Berechnung (eigene Darstellung)

Die Abbildung 6.5 zeigt das Sequenzdiagramm für das Abspeichern eines Resultats einer beliebigen Berechnung. Bei einem Speicheraufruf werden zuerst die Berechnungsinformationen geladen, danach wird die Lösung vom Algorithmus mit Hilfe der Eingabeparameter transferiert und vom Validator validiert. Nun wird anhand des Resultattyps der Status der Berechnung geändert. Das Resultat wird mit dem Ergebnis der Validierung in die Datenbank gespeichert. Wenn der Nutzer den Status einer Berechnung abrufen, fragt der Controller über den Service den Status ab. Der Service lädt die Berechnung, fragt die vorhandenen Resultate ab, fügt diese zu einem Status zusammen und schickt den Status an den Controller zurück.

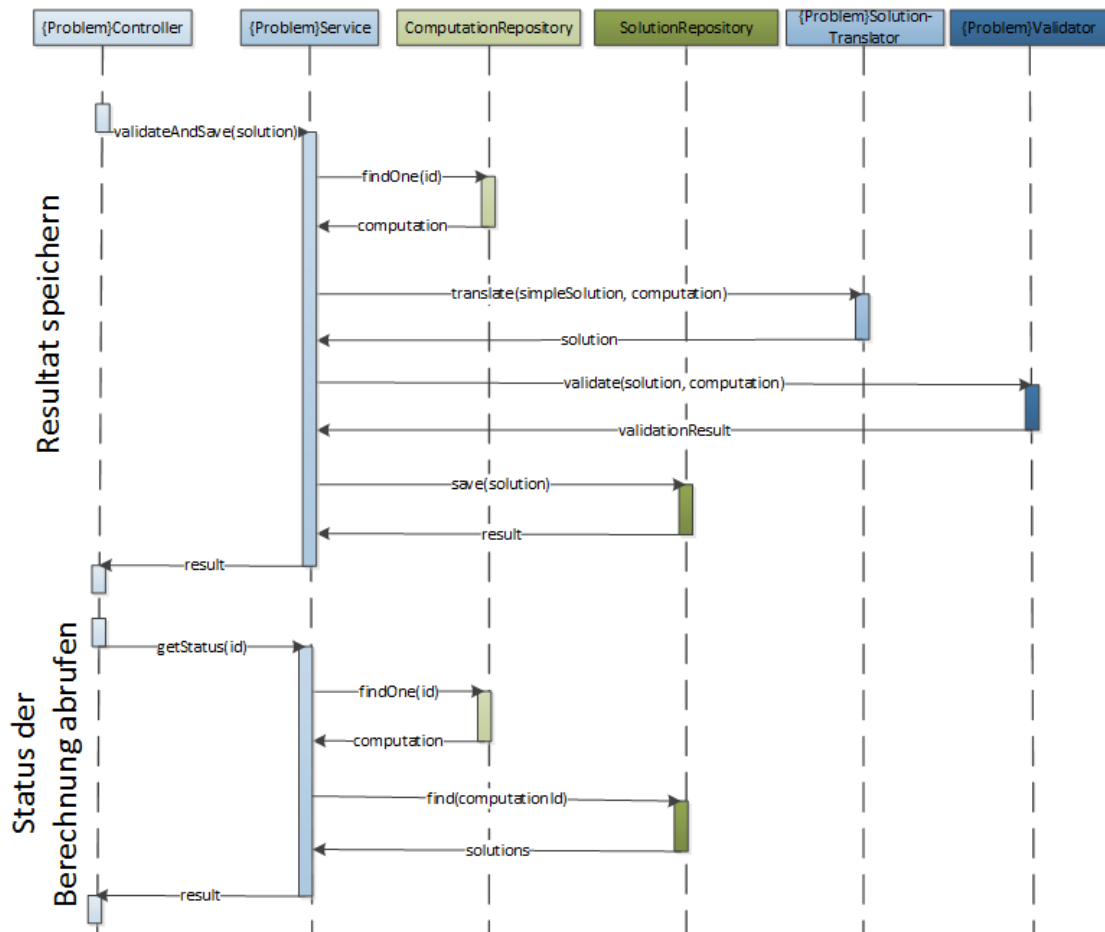


Abbildung 6.5: Abspeichern des Resultats einer Berechnung (eigene Darstellung)

6.3 Datenbank Varianten

Es gibt verschiedene Datenbanktypen mit verschiedenen Vor- und Nachteilen. In diesem Abschnitt werden vier verschiedene Typen miteinander verglichen und der Beste für diesen Anwendungszweck ausgewählt. Um die Eigenheiten der Datenbanken hervorzuheben, wird bei jeder Art das gleiche Beispiel mit der spezifischen Definitions- und Abfragesprache gemacht.

6.3.1 CAP-Theorem

Das *CAP-Theorem* ist im Jahr 2000 aus einer Vermutung von Eric Brewer entstanden^[Bre00]. Das Theorem behauptet, dass die Werte Konsistenz (C), Verfügbarkeit (A) und Partitionstoleranz (P) ein Dreieck bilden (siehe Abbildung 6.6) und dass ein verteiltes System nur jeweils zwei dieser Eigenschaften gleichzeitig erfüllen kann.

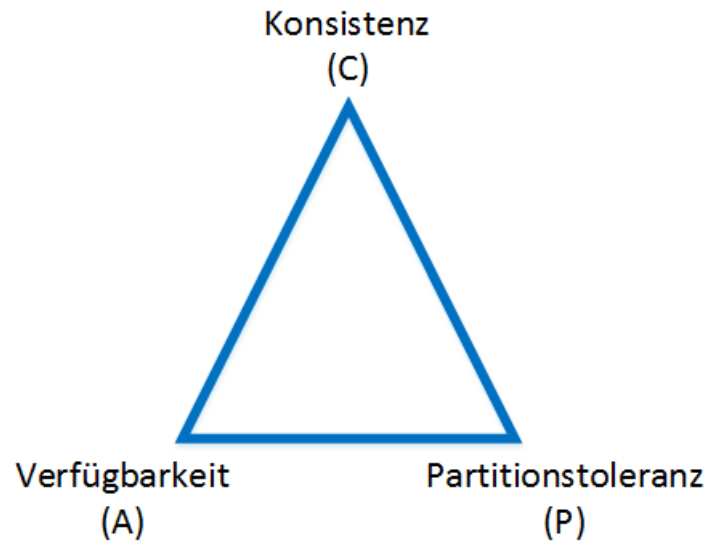


Abbildung 6.6: CAP-Theorem (eigene Darstellung)

Beispiele

- **AP:** Domain Name System (DNS), NoSQL Datenbanken
- **CA:** Relationale Datenbanken

6.3.2 Relationales Datenbanksystem

Ein *relationales Datenbankmanagementsystem* (RDBMS) basiert auf Transaktionen und dem *Atomicity, Consistency, Isolation, Durability* (ACID) Prinzip (vergleiche^[Lim10]).

- **Atomicity:** Eine Reihe von Befehlen wird entweder ganz oder gar nicht ausgeführt.
- **Consistency:** Der Datenzustand ist nach jeder Veränderung wieder konsistent, wenn es auch vorher der Fall war.
- **Isolation:** Unterschiedliche Befehlsketten beeinflussen sich nicht gegenseitig.
- **Durability:** Vollzogene Änderungen sind dauerhaft, auch bei einem Systemfehler.

Beziehungen zwischen Tabellen werden mit Fremdschlüsseln definiert, welche auf den Hauptschlüssel der referenzierten Tabelle zeigt. Listing 6.1 zeigt die Tabelle 'Person', welche eine Verbindung zur Tabelle 'Address' hat.

```

1  CREATE TABLE ADDRESS (
2      ID          INTEGER(11),
3      Street      VARCHAR(30),
4      Zip         INTEGER(6),
5      City        VARCHAR(12));
6
7  CREATE TABLE PERSON (
8      ID          INTEGER(11),
9      Name        VARCHAR(50),
10     FK_Address  INTEGER(11));

```

Listing 6.1: Tabellendefinition in relationalem Datenbanksystem

Die Abfrage der Strasse bei einer relationaler Datenbank mittels *Structured Query Language* (SQL) ist in Listing 6.2 dargestellt.

```

1  SELECT ADDRESS.Street
2  FROM PERSON
3  JOIN ADDRESS on PERSON.FK_Address = ADDRESS.ID;
4  WHERE PERSON.Name = 'Thomas';

```

Listing 6.2: Abfrage in relationalem Datenbanksystem

6.3.3 Objektrationales Datenbanksystem

Objektrationale Datenbankmanagementsysteme (ORDBMS) wurden entwickelt, um das RDBMS mit den Funktionen des objektorientierten Paradigmas zu erweitern. Die folgende Beschreibung der Eigenschaften ist aus^[Lim10] abgeleitet. In objektrationalen Datenbanksystemen werden komplexe Datentypen unterstützt, so können zusätzliche Typen definiert und bei einer Tabellendefinition verwendet werden. In Listing 6.3 ist eine Typendefinition von 'AddressType' zu sehen, welche wiederum in Listing 6.4 in der Tabelle 'Person' verwendet wird.

```

1  CREATE TYPE AddressType AS
2      (Street VARCHAR(30),
3       Zip   INTEGER(6),
4       City  VARCHAR(12));

```

Listing 6.3: Typendefinition im objektrationalen Datenbanksystem

```

1  CREATE TABLE PERSON(
2      ID        VARCHAR(20),
3      Name      VARCHAR(50),
4      Address   AddressType);

```

Listing 6.4: Verwendung von Typendefinition im objektrationalen Datenbanksystem

Eine Abfrage der Strasse einer bestimmten Person wird mittels der erweiterten SQL-Syntax, wie in Listing 6.5 dargestellt, abgefragt.

```

1  SELECT Address.Street
2  FROM PERSON;
3  WHERE Name = 'Thomas';

```

Listing 6.5: Abfrage in objektrationalem Datenbanksystem

Zusätzlich können auch Arrays von Typen definiert werden, in Listing 6.6 ist die Definition der Tabelle 'Person' mit bis zu fünf E-Mail-Adressen gezeigt.

```

1  CREATE TABLE PERSON(
2      ID        VARCHAR(20),
3      Name      VARCHAR(50),
4      Mail      VARCHAR(40) ARRAY[5]);

```

Listing 6.6: Verwendung von Array in objektrationalem Datenbanksystem

Weiter bieten die Systeme die Möglichkeiten, Vererbungshierarchien und Methoden auf Typen und Tabellen zu definieren. Der Anwendungsbereich liegt bei Applikationen, welche viele kurzlebige Transaktionen mit komplexen Objekten durchführen.

6.3.4 Objektorientiertes Datenbanksystem

Ein *objektorientiertes Datenbankmanagementsystem* (OODBMS) hat als Ziel eine bessere und nähere Zusammenarbeit mit objektorientierten Sprachen. Die Informationen über OODBMS sind aus^[Lim10] und^[ood15] entnommen. Der grosse Unterschied zu anderen Datenbanksystemen ist die Persistierung, bei OODBMS wird bereits beim Erstellen eines neuen persistenten Objekts im Code ein Pointer auf das Objekt in der Datenbank zurückgegeben. Das objektrationale Mapping,

welches bei RDBMS und ORDBMS notwendig ist, entfällt. Weiter unterstützen die Systeme Versionierung von Objekten, die Datenbank kann somit mit verschiedenen Versionen der Objekten gleichzeitig umgehen. Dies kann bei einer geplanten Umstrukturierung sehr hilfreich sein, wenn die neue Version erst für Tests verwendet wird und die bestehenden Objekte erst nach dem Release migriert werden sollen. Listing 6.7 zeigt, wie das Objekt 'Person' in *Object Definition Language* (ODL) definiert wird.

```

1  class PERSON
2  {
3      attribute string Id;
4      attribute string Name;
5      attribute struct Address
6          { string Street,
7            short Zip,
8            string City} address;
9  }
```

Listing 6.7: Objektdefinition in objektorientiertem Datenbanksystem

Für die Abfrage der Strasse einer Person wird ein Statement wie in Listing 6.8 verwendet. Diese Abfragesprache nennt sich *Object Query Language* (OQL). Die Attribute der Objekte und Structs können mit einem Punkt separiert verkettet werden.

```

1  SELECT p.Address.Street
2  FROM persons p
3  WHERE p.Name = 'Thomas';
```

Listing 6.8: Abfrage in objektorientiertem Datenbanksystem

Die objektorientierten Datenbanksysteme bieten die aus den RDBMS bekannten Abfragefunktionen (Avg, Max, Min, Distinct). Zusätzlich können bei diesen Systemen Vererbungshierarchien und Methoden in Objekten definiert werden. Sie werden bei Applikationen verwendet, welche viele, lange Transaktionen mit komplexen Objekten haben. Lade- und Speichervorgänge sind bei OODBMS sehr komplex, deshalb sollten kurze Transaktionen, in welchen sehr vielen komplexe Objekten geladen werden, vermieden werden.

6.3.5 NoSQL Datenbanksystem

NoSQL Datenbanksysteme folgen nicht dem ACID Prinzip. Sie sind entwickelt worden, um den erforderlichen Geschwindigkeiten und Grössen von Anwendungen in Firmen wie Google, Facebook, Yahoo und Twitter zu genügen. Die Systeme sind nicht relational aufgebaut und verwenden oft eine andere Abfragesprache als SQL (siehe^[Vai13]). Die meisten NoSQL Datenbanksysteme setzen auf das *Basically Available, Soft state, Eventual consistency* (BASE)-Prinzip von Eric Brewer und sind im Bezug auf das CAP-Theorem je nach Implementation in AP oder CP einzugliedern.

„**Basic availability:** Each request is guaranteed a response—successful or failed execution.

Soft state: The state of the system may change over time, at times without any input (for eventual consistency).

Eventual consistency: The database may be momentarily inconsistent but will be consistent eventually.“ (Gaurav Vaish^[Vai13])

Nahezu alle NoSQL Datenbanksysteme sind schemalos, das heisst, die Tabellen müssen nicht definiert werden. Die Abfragen gestalten sich einfach, JOIN Befehle entfallen komplett. Durch ihren Aufbau sind sie grundsätzlich performanter als anderen Datenbanken^[Had13], das geht jedoch meist auf die Kosten der Konsistenz. Deshalb ist es wichtig, dass einem die Anforderungen bei der Auswahl einer Datenbank klar sind.

NoSQL Datenbanktypen

NoSQL ist eine Übergruppe von unterschiedlichen Datenbanktypen. In diesem Abschnitt wird auf drei verschiedene NoSQL Datenbanktypen eingegangen, die Eigenschaften der jeweiligen Typen sind aus^[Vai13] entnommen.

Document Bei dokumentorientierten Datenbanken werden *semistrukturierte Daten* abgespeichert, diese verwenden meistens die Dateiformate *JavaScript Object Notation* (JSON), *Extensible Markup Language* (XML) oder *YAML*. Die meisten Datenbanksysteme dieser Art haben kein definiertes Schema für Einträge oder nur ein teilweise definiertes Schema. Es ist somit möglich ganz unterschiedliche Elemente in eine Collection, so werden Tabellen in diesem Kontext genannt, zu speichern. Diese Erklärung erinnert an *Binary Large Object* (BLOB) in relationalen Datenbanken, jedoch können hier Indexes auf bestimmte Attribute gesetzt und innerhalb der Elemente effizient gesucht werden.

In Listing 6.9 wird ein Eintrag gezeigt, welches in der Collection 'Persons' gespeichert ist. Dieses Beispiel basiert auf einer MongoDB Instanz, die Definition für die Collection entfällt komplett.

```

1  {
2      _id: 1,
3      name: "Thomas",
4      address: {
5          street: "Bahnhofstrasse 45",
6          zip: 8315,
7          city: "Lindau"}
8  }
```

Listing 6.9: Personen Element in JSON Format

Listing 6.10 zeigt die Abfrage der Strasse bei MongoDB, welche das Resultat aus Listing 6.11 liefert. Bei MongoDB wird bei einer Abfrage standardmässig immer das ganze Element zurückgegeben. Falls nur gewisse Attribute abgefragt werden sollen, können diese in dem Projektionsabschnitt definiert werden. Die ID des Elements wird, falls sie nicht explizit ausgeschlossen wird, immer mitelektiert.

```
1 db.persons.find({name: "Thomas"}, {_id: 0, "address.street": 1})
```

Listing 6.10: Abfrage in MongoDB

```

1  {
2      address: {
3          street: "Bahnhofstrasse 45"}
4  }
```

Listing 6.11: Resultat der Abfrage in MongoDB

Column-oriented Anders als bei relationalen Datenbanken, welche zeilenorientiert arbeiten, werden die Daten in diesen Systemen spaltenorientiert gespeichert. Eine serialisierte Lohndatenbank würde beim zeilenorientierten Konzept wie in Listing 6.12 und beim spaltenorientierten Ansatz wie in Listing 6.13 aussehen.

```

1  1,Thomas,100000
2  2,Patrick,120000
3  3,Andreas,200000
```

Listing 6.12: Serialisierung zeilenorientierte Datenbank

```

1  1,2,3
2  Thomas,Patrick,Andreas
3  100000,120000,200000
```

Listing 6.13: Serialisierung spaltenorientierte Datenbank

Die Definitions- und Abfragesprache ist gleich wie bei relationalen Datenbanken, deshalb wird hier auf Beispiele verzichtet. Der Vorteil einer spaltenorientierten Datenbank liegt in der Performance bei *Aggregationsfunktionen*. Weiter führt dieser Datenbanktyp Veränderungen, welche alle Werte einer Spalte betreffen, effizient durch. Dafür ist das Einfügen einer neuen Zeile oder das Auslesen einer ganzen Zeile aufwändiger als bei dem zeilenorientierten Ansatz.

Graph In Graphdatenbanken sind die abgespeicherten Objekte die Knoten und die Beziehung der Objekte bilden die Kanten. Die Kanten können zusätzlich mit Eigenschaften versehen werden. Dieser Datenbanktyp kann für komplexe Netzwerke verwendet werden. Der Vorteil liegt bei der Handhabung der Beziehungen. Das Herausfinden der kürzesten Route zwischen zwei Elementen über ihre definierten Beziehungen stellt für diesen Datenbanktyp keine Herausforderung dar.

Die Daten werden je nach Implementation auch in Dokumenten abgespeichert, somit entfällt auch hier eine Definition des Schemas. In Listing 6.14 ist das Beispiel für das Abfragen der Strasse einer Person in Neo4j zu sehen.

```
1 MATCH (person:Person)
2 WHERE person.name = "Thomas"
3 RETURN person.address.street;
```

Listing 6.14: Abfrage in Neo4j

6.3.6 Vorselektierung

Um nicht alle sechs vorgestellten Datenbanksysteme in der Nutzwertanalyse miteinander vergleichen zu müssen, wurde eine Vorselektierung aufgrund der Ist-Analyse gemacht. Objektrelationale Datenbanken unterscheiden sich vor allem bei der Definition des Datenbankschemas, deshalb wurden sie mit den relationalen Datenbanken zusammen genommen. Falls die relationalen Datenbanken bei der Nutzwertanalyse als Gewinner hervorgehen, müsste noch bestimmt werden, welcher der beiden Typen verwendet werden soll. Die Anforderungen lassen auf keinen Anwendungsfall für eine spaltenorientierte Datenbank schliessen. In den einzelnen Problemen spielen Beziehungen zwischen Objekten zwar oft eine Rolle, doch das würde eher in den Bereich des Algorithmus fallen. Aus diesem Grund werden Graphdatenbanken ebenfalls ausgeschlossen. Somit bleiben noch die relationale, die objektorientierte und die dokumentorientierte Datenbank für die Nutzwertanalyse übrig.

Da es innerhalb der ausgewählten Datenbanksystemen sehr viele verschiedene Produkte gibt, wurde von jedem Typ eines ausgewählt. Bei den relationalen Datenbanken fiel die Entscheidung auf MySQL^[mys15], da dieses kostenlos verfügbar ist und bereits Erfahrung vorhanden war. Die ausgewählte objektorientierte Datenbank ist Objectivity/DB^[obj15], welche auch beim Teilchenbeschleuniger in CERN verwendet wird^[Guz09]. Da MongoDB^[mon15] sehr verbreitet und eine gute Integration in die Java Frameworks hat^{[spr15c] [hib15]}, wurde dieses Produkt unter den dokumentorientierten Datenbanken ausgewählt.

6.4 Nutzwertanalyse

6.4.1 Bewertungskriterien

In der Nutzwertanalyse werden folgende Punkte betrachtet, nach dem angegebenen Schema bewertet und dann gewichtet. Die Kriterien sind grösstenteils aus dem CAP-Theorem abgeleitet.

Aufwand

- **Beschreibung:** Wie gross ist der geschätzte Aufwand für die Einarbeitung und Implementation mit diesem Datenbanktyp?
- **Bewertung:** 1: sehr hoch, 10: sehr niedrig
- **Gewichtung:** 5 (Die Zeit für dieses Projekt ist beschränkt und die Entscheidung könnte zu einem Risiko werden.)

Flexibilität

- **Beschreibung:** Wie flexibel ist diese Variante in Bezug auf Erweiterungen/Vererbung?
- **Bewertung:** 1: sehr spezifisch, 10: sehr flexibel
- **Gewichtung:** 5 (Die Anforderungen geben vor, dass das System einfach zu erweitern sein sollte.)

Konsistenz

- **Beschreibung:** Wie gut ist die Datenbank in Bezug auf Konsistenz?
- **Bewertung:** 1: gar nicht 10: sehr gut
- **Gewichtung:** 2 (Die Daten haben untereinander so gut wie keine Abhängigkeiten, es werden fast nur Einfüge-Operationen benutzt.)

Verfügbarkeit

- **Beschreibung:** Wie hoch ist die Verfügbarkeit der Datenbank-Operationen?
- **Bewertung:** 1: niedrig, 10: sehr hoch
- **Gewichtung:** 4 (Die Schnittstelle wird für möglichst viele gleichzeitige Requests ausgelegt, eine Warteschlange von Operationen ist nicht gewünscht.)

Partitionstoleranz

- **Beschreibung:** Kann die Datenbank verteilt betrieben werden?
- **Bewertung:** 1: nur eingeschränkt, 10: sehr einfach
- **Gewichtung:** 4 (Mit zunehmender Grösse wird die Datenbank sehr wahrscheinlich verteilt betrieben.)

6.4.2 Bewertung

Anhand der zuvor definierten Kriterien wurde eine Bewertung vorgenommen. Diese Einschätzung ist nicht generell gültig, sondern bezieht sich nur auf dieses Projekt.

| Kriterium | Relationale Datenbank | Objektorientierte Datenbank | Dokumentorientierte Datenbank |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Produkt | MySQL | Objectivity/DB | MongoDB |
| Aufwand | 7 (35) | 5 (25) | 7 (35) |
| Begründung | Ist bekannt und das Einrichten ist relativ schnell durchgeführt. | Keine Erfahrung mit objektorientierten Datenbanken, Konzept muss zuerst verstanden werden. | Dokumentorientierte Datenbank noch nie benutzt, jedoch bereits Erfahrung mit dem verwendeten Speicherformat JSON. |
| Flexibilität | 4 (20) | 3 (15) | 10 (50) |
| Begründung | Jede Anpassung an den Entities Attributen erfordert auch eine Änderung des Schemas. | Änderung am Schema erforderlich, was zur Migration aller Daten führt. | Sehr flexibel, bei Änderungen der Entities oder neuen Problemen keine Anpassung nötig. |
| Konsistenz | 10 (20) | 10 (20) | 5 (10) |
| Begründung | Konsistenz ist einer der Hauptgründe für relationale Datenbanksysteme. | Basiert auch auf dem ACID Prinzip. | Die Stärke liegt nicht in der Konsistenz. |
| Verfügbarkeit | 6 (24) | 6 (24) | 9 (36) |
| Begründung | Bei Transaktionen sind zeitweise Teile der Datenbank gesperrt und nicht verfügbar. | Transaktionen haben einen negativen Einfluss auf die Verfügbarkeit. | Keine Sperrzeiten von Einträgen, somit keine Verzögerungen von Aktionen. |
| Partitionstoleranz | 7 (28) | 9 (36) | 9 (36) |
| Begründung | Benötigt aufwändige Konfiguration um die Datenbank verteilt zu betreiben. | Ist für einen verteilten Betrieb ausgelegt. | Kann gut und einfach verteilt betrieben werden. |
| Total (gewichtet) | 34 (122) | 33 (123) | 40 (167) |

Tabelle 6.1: Nutzwertanalyse - Datenbank Varianten

6.4.3 Fazit

Das Resultat der Nutzwertanalyse hat ergeben, dass für dieses Projekt am besten eine dokumentorientierte Datenbanklösung verwendet wird. Die Schnittstelle benötigt keine Transaktionen und profitiert von einer hohen Verfügbarkeit und Partitionstoleranz. Die Flexibilität von dokumentorientierten Datenbanksystemen ist ideal für dieses Projekt, da sie eine schnelle und unkomplizierte Erweiterung bzw. Anpassung ermöglicht. Zusätzlich sollten auch die verschiedenen Ausprägungen der einzelnen Problemen gut unterstützt werden.

6.5 Datendiagramm des Datenspeichers

Da sich bei der Nutzerwertanalyse ergeben hat, dass eine dokumentorientierte Datenbank am besten geeignet ist, entfällt ein Datendiagramm der Tabellen, wie es von relationalen Datenbanken bekannt ist. Die Collections benutzen kein vordefiniertes Schema, sondern die verwendeten Klassen legen das Schema fest. Aus diesem Grund reicht ein Klassendiagramm, um zu wissen, wie die Daten abgespeichert werden.

In Abbildung 6.7 ist die Klassen-Hierarchie der Berechnungstypen dargestellt und in Abbildung 6.8 werden die verschiedenen Resultatklassen gezeigt.

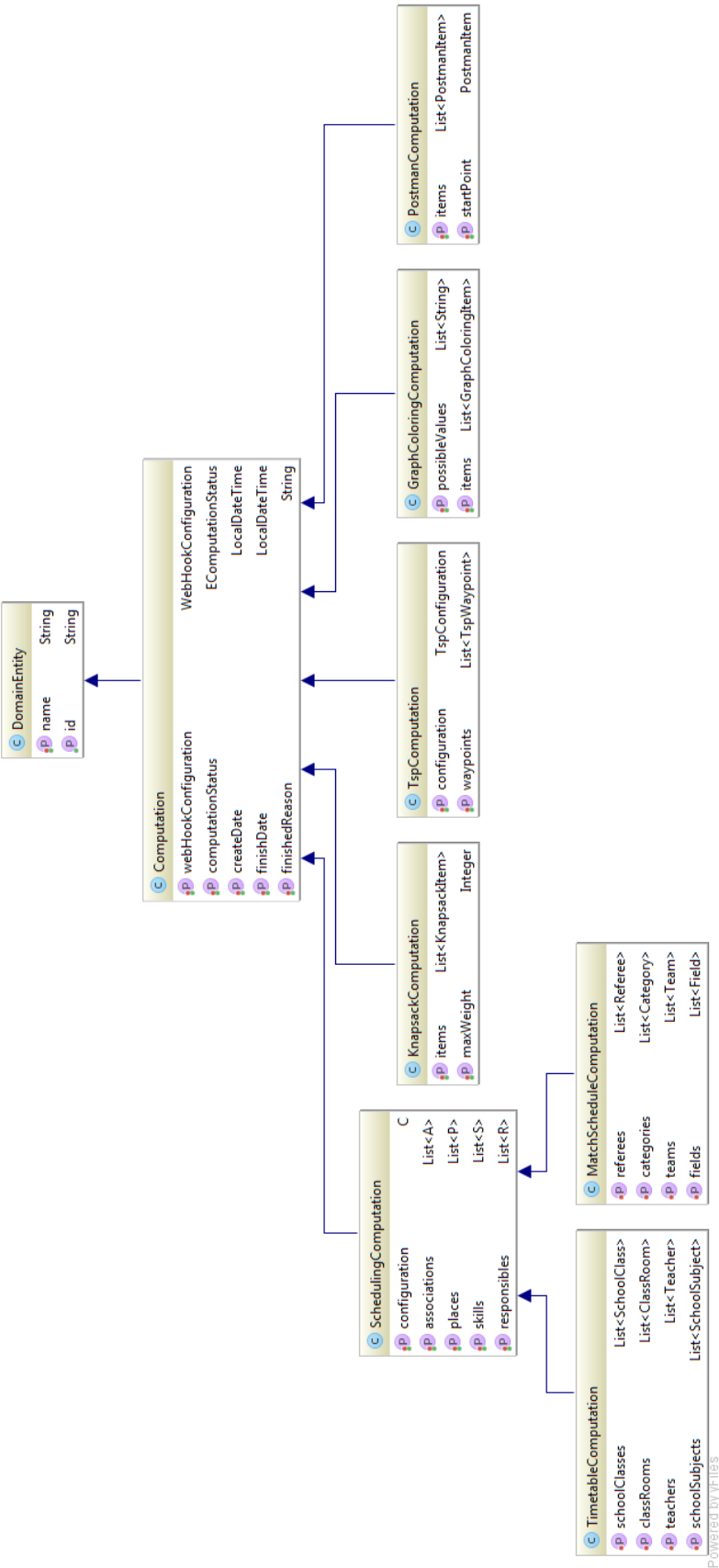


Abbildung 6.7: Klassendiagramm der verschiedenen Problemklassen (eigene Darstellung)

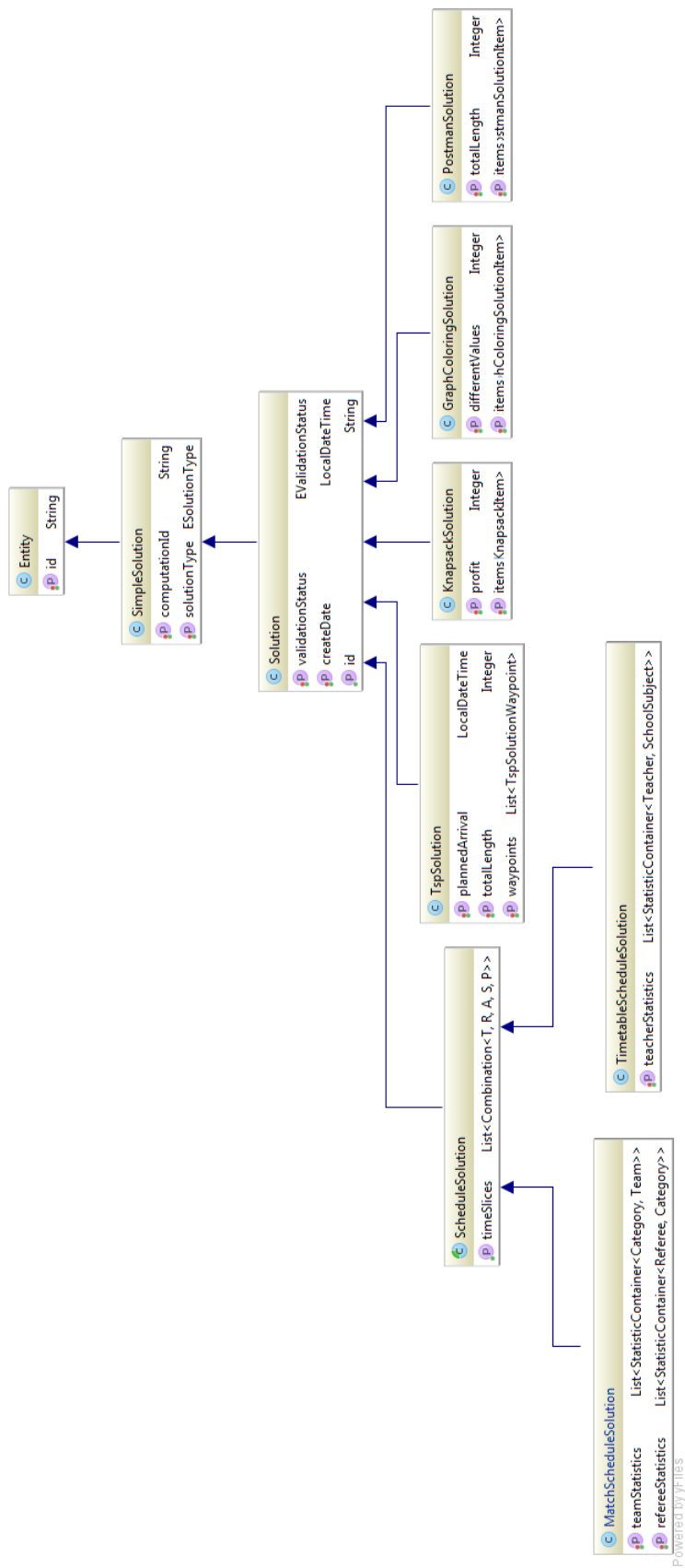


Abbildung 6.8: Klassendiagramm der verschiedenen Resultatklassen (eigene Darstellung)

7 Umsetzung des Prototyps [R5]

In diesem Kapitel wird kurz auf die Erkenntnisse aus dem vertikalen Durchstich eingegangen. Danach wird erklärt, wie die Umsetzung für die ausgewählten Problemtypen durchgeführt wurde. Zu guter Letzt wird noch die Entwicklungsumgebung für dieses Projekt beschrieben.

7.1 Erster Durchstich

Zum Start der Umsetzung wurde ein erster vertikaler Durchstich anhand des Rucksack-Problems gemacht, um zu sehen, ob sich das Konzept bewährt. Während der Implementation wurde bereits überlegt, wie die Logik möglichst generisch gehalten werden kann.

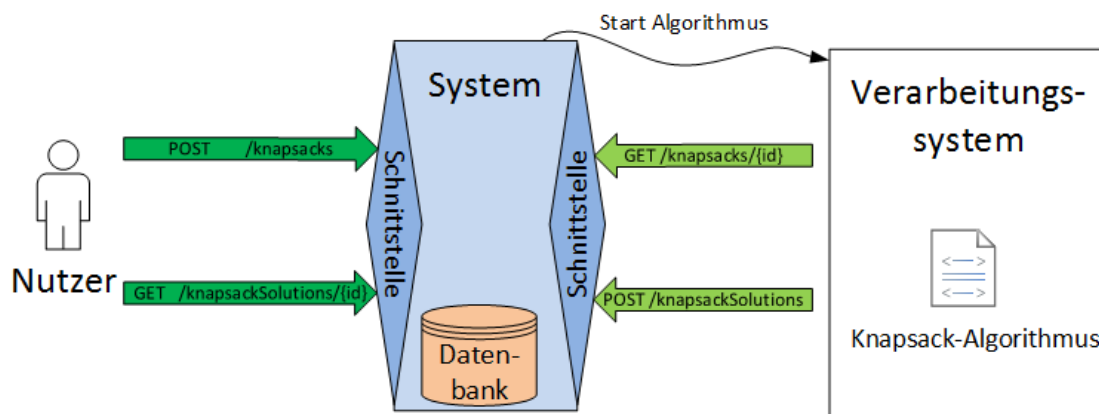


Abbildung 7.1: Vertikaler Durchstich mit dem Rucksack-Problem (eigene Darstellung)

7.1.1 Erkenntnisse nach dem ersten Durchstich

Die Kontaktschnittstelle zum Nutzer generisch zu halten, macht aus Gründen der Benutzerfreundlichkeit keinen Sinn. Für den Kunden ist es transparenter, wenn er eine Schnittstelle aufruft, welche zum Beispiel 'timetableComputations' heisst, statt einer generischen Schnittstelle namens 'computations'. Zudem ist es nicht möglich nur mithilfe der Daten herauszufinden, welches Problem gelöst werden möchte. Dazu würde es einen zusätzlichen Parameter benötigen. Weiter stellt es sich als schwierig heraus, mit der gewählten Programmiersprache und dem Framework einen Endpunkt bereitzustellen, welcher verschiedene Ressourcentypen akzeptiert. Die Validierung der Eingabeparameter würde dadurch zusätzlich erschwert werden.

Das Konzept mit den beiden Translators bietet sehr viele Möglichkeiten und Flexibilität. Es entkoppelt die Nutzer-Schnittstelle komplett von der Schnittstelle für die Algorithmen. Um diese Flexibilität ausnutzen zu können, müssen jedoch oft verschiedene Entities für die Nutzer- und Algorithmus-Sicht erstellt werden.

In der Business Logik kann vieles allgemein gehalten werden. Die Repositories, Services und die Interfaces können generisch programmiert werden und bleiben für alle Probleme gleich. Beim Controller kann die Logik in einer abstrakten Klasse definiert werden. Somit müssen nur noch die Namen der Schnittstellen in der spezifischen Implementation definiert werden. Es hat sich gezeigt, dass sich das Konzept bewährt und die weiteren Probleme dementsprechend gelöst werden konnten.

7.1.2 Anpassung des Konzepts nach dem ersten Durchstich

Das Konzept wurde nach dem ersten Durchstich dahingegen geändert, dass die Schnittstellen auf der Nutzer-Seite umbenannt wurden und die Algorithmus-Seite einen anderen Namespace erhielt. Weiter verschwand die separate Schnittstelle für das Abfragen des Resultats, die Funktionalität wurde stattdessen in die Status-Abfrage integriert.

7.2 Implementierung der Schnittstelle

In diesem Abschnitt wird über die Implementation der Schnittstelle im Allgemeinen geschrieben. Wie bereits erwähnt ist der Ablauf bei jedem Problem gleich, dementsprechend verhält sich die Schnittstelle auch sehr ähnlich.

7.2.1 Statusabfrage

Damit der Nutzer möglichst wenig Schnittstellen ansprechen muss, erhält er bei einer Statusabfrage ebenfalls die vorhandenen Resultate. Der Nutzer erhält nur Resultate mit dem Status 'FINAL'. Resultate mit dem Status 'PARTIAL' werden zwar beim Status und der Zeit des zuletzt empfangenen Resultats berücksichtigt, aber nicht herausgegeben. Der Status besitzt neben den Resultaten eine ID und einen Namen, weiter werden Startzeit, Endzeit und die Zeit des zuletzt empfangenen Resultats angegeben. Falls eine Berechnung beendet ist, wird eine Begründung der Beendigung angezeigt. Dies kann zum Beispiel ein aufgetretener Fehler während des Starts oder der Berechnung sein oder eine Bestätigung der erfolgreichen Berechnung.

```
1 {  
2   "id": "<Berechnung ID>",  
3   "name": "<Berechnungsname>",  
4   "computationStatus": "<Status der Berechnung>",  
5   "createDate": <Erstelldatum>,  
6   "finishDate": <Enddatum>,  
7   "finishedReason": "<Begründung der Beendigung>",  
8   "lastResultReceived": <Datum des zuletzt empfangenen  
9     Resultats>,  
10  "solutions": <Resultate>  
}
```

Listing 7.1: Aufbau einer Antwort auf eine Statusabfrage

7.2.2 WebHook Möglichkeit

Die Berechnungen können je nach Komplexität sehr lange dauern. Der Nutzer müsste immer wieder den Status abfragen, um zu sehen, ob ein Resultat vorhanden ist. *WebHooks* bieten Abhilfe für dieses Problem. Das Verfahren ist nicht standardisiert, es ist aber sehr simpel und hilfreich. Beim Start einer Berechnung kann eine URL mitgegeben werden, zu welcher bei jeder Statusänderung ein POST-Request gesendet wird. Um diese Schnittstelle möglichst generisch zu halten, wurde eine Möglichkeit geschaffen, eine beliebige Payload für den POST-Request anzugeben. Die Nachricht der Statusänderung kann nach belieben mit dem Platzhalter '___MESSAGE___' irgendwo in die Payload eingebunden werden. Das Attribut 'message' wird in der Nachricht gesetzt, wenn der Platzhalter nirgends verwendet wird. Eine Konfiguration für die Chat-Applikation 'Slack' würde wie in Listing 7.2 aussehen. Die Nachrichten bei Statusänderungen sähen dann wie in Abbildung 7.2 aus.

```
1 ...  
2 "webHookConfiguration": {  
3   "url": "https://hooks.slack.com/services/T0000/B0000/XXX",  
4   "payload": {  
5     "text": "___MESSAGE___",
```

```

6      "channel": "#simplatyser",
7      "username": "simplatyser",
8      "icon_emoji": ":squirrel:"
9    }
10  }
11  ...

```

Listing 7.2: Beispiel einer WebHook Konfiguration für Slack

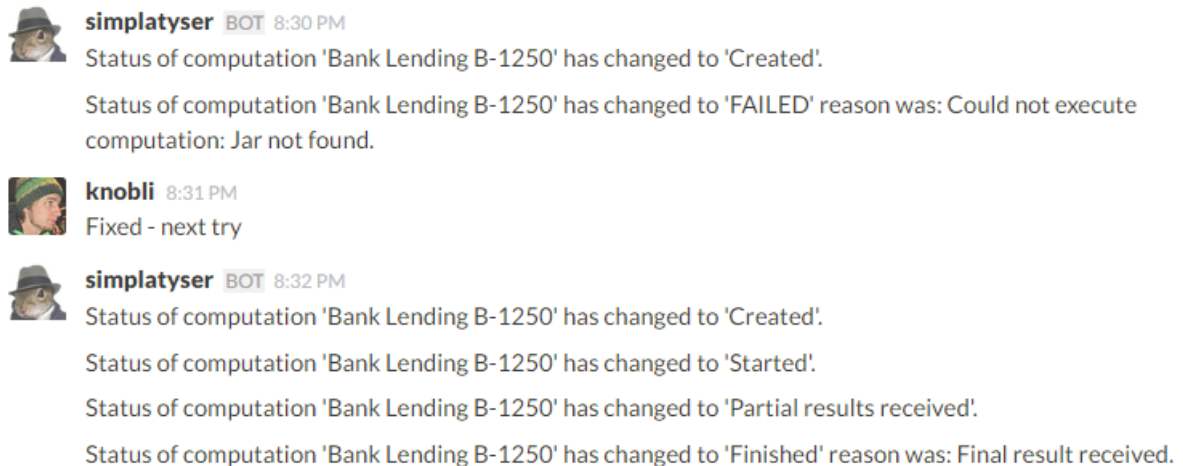


Abbildung 7.2: Nachrichten der Statusänderungen von Berechnungen (eigene Darstellung)

7.2.3 Technische Umsetzung und Herausforderungen

Das Fundament der Software war mit Spring Boot^[spr15a] sehr schnell gebaut, die Anbindung an MongoDB wurde mit Spring Data^[spr15b] realisiert. Leider war oftmals die Dokumentation nicht ausreichend oder nur für die XML-Konfiguration von Spring ausgelegt. Weiter gab es fehlende Teile in Spring Data, welche gefunden werden mussten. So gibt es zum Beispiel zu diesem Zeitpunkt standardmässig keine Möglichkeit, ein 'LocalTime'-Objekt oder ein 'LocalDateTime'-Objekt von Java 8 zu persistieren. Dies führte zu einem Stackoverflow anstatt einer spezifischeren Exception, was wiederum die Suche nach dem Fehler erheblich erschwerte. Um diese Probleme zu beheben, musste ein eigener Converter geschrieben und dieser bei der MongoDB-Konfiguration angegeben werden.

Bei der Business Logik wurde darauf geachtet, dass vieles mit *Generics* gelöst werden konnte. Vor allem bei den Services konnte viel Code für alle Probleme wiederverwendet werden. Auch bei den beiden Scheduling-Problemen konnte viel Code-Duplizierung vermieden werden. Zusätzlich wurden häufig verwendete Funktionen, wie das Abbilden auf die Input-Objekte, in Helfer-Klassen ausgelagert, damit sie nur ein Mal implementiert werden mussten.

7.3 Implementierung der Probleme

In diesem Unterkapitel wird für jedes Problem kurz erklärt, was beim Prototyp implementiert wurde, um die Möglichkeiten des Konzepts aufzuzeigen. Eine ausführliche Schnittstellen-Dokumentation ist in Abschnitt A.2 zu finden. Zusätzlich wurde noch eine elektronische Dokumentation der Schnittstelle mit Hilfe von Swagger UI^[swa15] erstellt. Diese stellt die angebotenen Schnittstellen, die Eingabeparameter und die Resultat sehr übersichtlich dar.

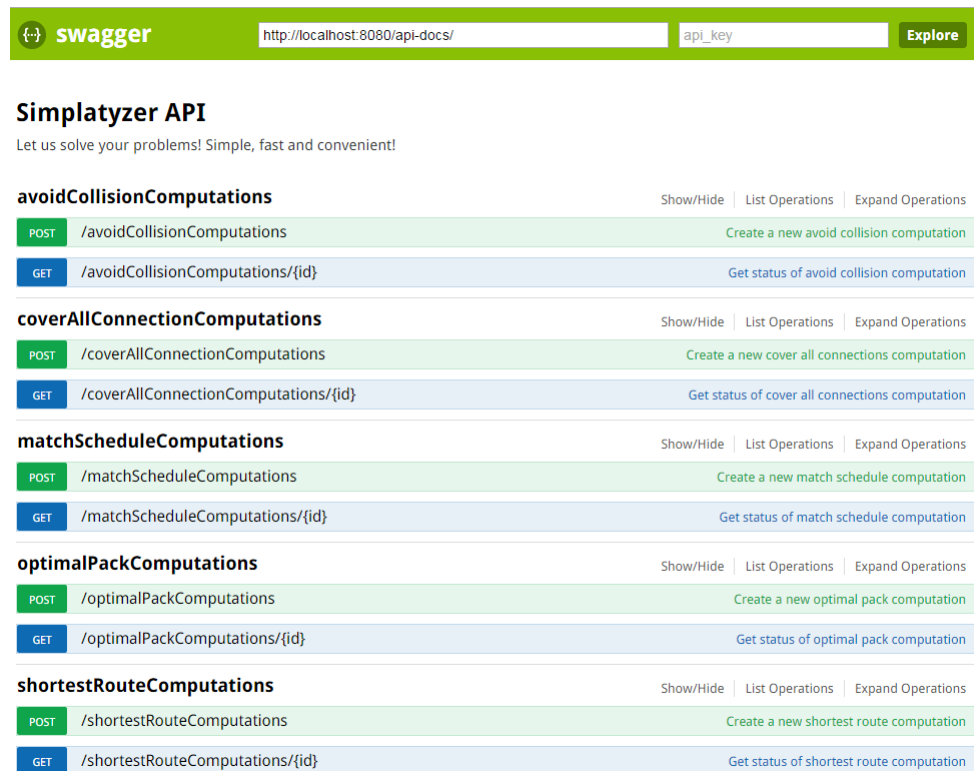


Abbildung 7.3: Nutzer-Schnittstellenbeschreibung von Swagger (eigene Darstellung)

Beim Evaluieren des Stundenplan-Problems wurde bemerkt, dass es sehr viele verschiedene Planungsprobleme gibt. Deshalb wurde ein zusätzliches Planungsproblem gewählt, um zu schauen, wie sich die Schnittstelle bei sehr ähnlichen Problemen verhält.

7.3.1 Rucksack

Das Rucksack-Problem ist aus Sicht der Schnittstelle ein relativ einfaches Problem. Um die Benutzerfreundlichkeit zu verbessern, kann der Nutzer bei den Elementen eine Anzahl definieren und muss sie nicht doppelt angeben. Der Algorithmus hingegen bekommt eine Liste mit den einzelnen Elementen. Zudem wird der Name der Element nicht weitergegeben, da er vom Algorithmus nicht benötigt wird. Der Algorithmus liefert als Resultat eine Liste von booleschen Werten zurück, diese müssen zuerst wieder auf die ursprünglichen Elemente abgebildet werden. Bei der Validierung wird überprüft, ob die Gewichtsschranke nicht überschritten wurde und ob ein Element nicht zu oft verwendet wurde. Letzteres ist zwar beim getesteten Algorithmus nicht möglich, könnte jedoch bei einer anderen Implementation der Fall sein. Der Benutzer erhält als Resultat eine Liste mit allen Objekten, welche verwendet wurden. Wenn ein Objekt mehrmals verwendet wurde, wird die entsprechende Anzahl angegeben. Abbildung 7.4 zeigt die Klassen der Eingabeparameter für eine Rucksack-Berechnung, einige Attribute von der Klasse 'KnapsackItem' können ebenfalls für die Algorithmus-Sicht verwendet werden, deshalb gibt es eine Hierarchiestufe mehr. Alle Objekte, welche auf der Algorithmus-Seite Verwendung finden, beinhalten im Namen ein 'Simple', da sie weniger Informationen umfassen.

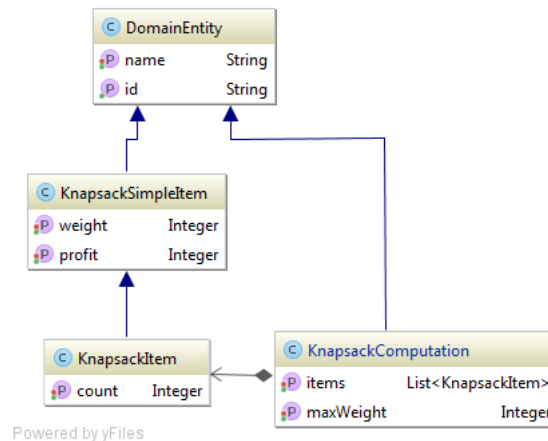


Abbildung 7.4: Eingabeparameter für eine Rucksack-Berechnung (eigene Darstellung)

7.3.2 Knotenfärbung

Bei der Knotenfärbung geht es darum, Kollisionen zu vermeiden. Dies wurde für den Nutzer möglichst transparent umgesetzt. Der Nutzer kann mögliche Werte (z.B. Farben oder Frequenzen) angeben, welche die Elemente zugeteilt bekommen sollen. Der Algorithmus erhält eine Liste mit allen Elementen und ihren Nachbarn. Die Namen der Elemente und die möglichen Werte werden nicht weitergegeben. Es wird davon ausgegangen, dass der Algorithmus eine Liste von Elementen mit den zugewiesenen Werten zurückgibt. Beim Übersetzen werden die Werte vom Algorithmus mit den möglichen Werten aus der Benutzereingabe ausgetauscht. Falls der Nutzer keine Werte angegeben hat, werden die Werte vom Algorithmus weitergegeben. Bei der Validierung wird überprüft, dass kein Element den gleichen Wert wie einer seiner Nachbarn hat. Als Resultat erhält der Benutzer eine Liste mit allen Elementen und ihren zugewiesenen Werten.

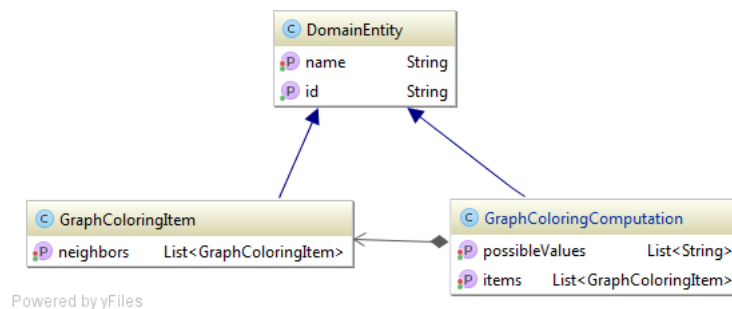
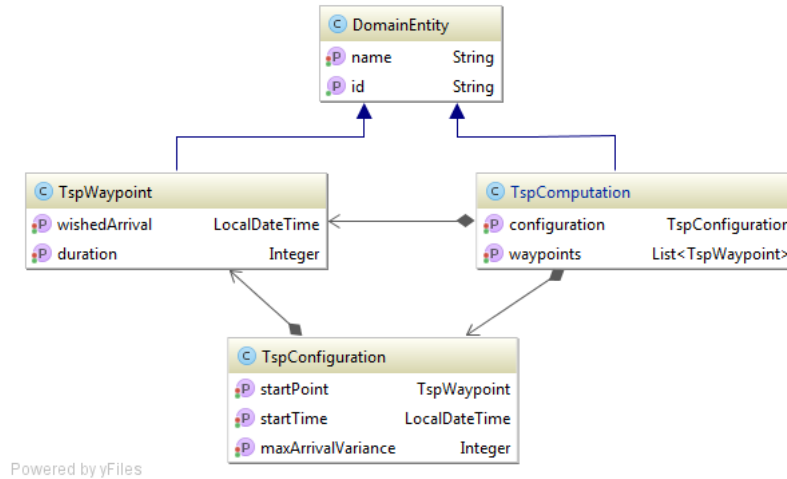


Abbildung 7.5: Eingabeparameter für eine Knotenfärbung-Berechnung (eigene Darstellung)

7.3.3 Problem des Handlungsreisenden

Der Service bietet nicht nur die kürzeste Route für eine Liste von Wegpunkten an, es ist auch möglich, für jeden Wegpunkt eine gewünschte Ankunftszeit und Aufenthaltszeit anzugeben. Der Algorithmus erhält vom System eine Liste mit allen Wegpunkten, bei diesem Schritt wird nichts übersetzt. Es wäre jedoch theoretisch möglich, dass die Schnittstelle die Daten bereits für den Algorithmus aufbereitet, zum Beispiel indem sie die Kosten zwischen den Wegpunkten berechnet. Es wird davon ausgegangen, dass der Algorithmus eine Liste der Wegpunkte in der berechneten Reihenfolge zurückgibt. Beim Übersetzen werden die geplanten Ankunftszeiten berechnet, welche dann während der Validierung mittels der maximal angegebenen Abweichung überprüft werden.

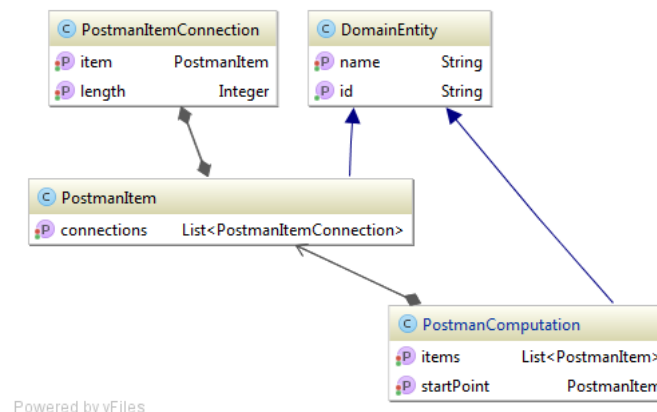
Der Benutzer erhält als Resultat eine Liste von Wegpunkten mit gewünschter und geplanter Ankunftszeit in der berechneten Reihenfolge.



Abbildungung 7.6: Eingabeparameter für eine Routen-Berechnung (eigene Darstellung)

7.3.4 Briefträgerproblem

Das Briefträgerproblem berechnet eine Route, welche alle bekannten Wege eines Graphen abfährt. Der Nutzer kann eine Liste von Wegpunkten mit den Verknüpfungen zu anderen Wegpunkten und ihrer Länge angeben. Der Algorithmus erhält vom System eine Liste mit allen Wegpunkten, die Namen der Wegpunkte werden nicht weitergegeben. Es wird davon ausgegangen, dass der Algorithmus eine Liste der Wegpunkte in der berechneten Reihenfolge zurückgibt. Beim Übersetzen werden die Wegpunkte wieder auf die Eingabewerte abgebildet und die komplette Länge der Route berechnet. Die Validierung überprüft, ob der Weg möglich ist und ob jede Verbindung mindestens ein Mal benutzt wurde. Der Benutzer erhält als Resultat eine Liste mit der berechneten Reihenfolge der Wegpunkte und die totale Länge der Strecke.



Abbildungung 7.7: Eingabeparameter für eine Briefträger-Routen-Berechnung (eigene Darstellung)

7.3.5 Stundenplan Erstellung

Das Erstellen eines Stundenplans ist ein Planungsproblem, welches sehr viele Möglichkeiten und Einschränkungen besitzt und somit sehr komplex ist. In dieser Implementation sind bei weitem

nicht alle Spezialitäten abgedeckt. Es wurde darauf geachtet, dass bereits einige Einschränkungen, wie zum Beispiel freie Tage von Lehrern und blockierte Schulzimmer, miteinbezogen werden. Der Nutzer gibt eine Liste von Klassen, Lehrern, Schulzimmern und Schulfächern an. Die Klassen haben eine bestimmte Grösse und definieren auch, welche Fächer sie besuchen müssen. Die Lehrer haben eine Liste mit Schulfächern, welche sie unterrichten können, eine List mit zugehörigen Klassen und eine Definition ihrer freien Tage. Die Klassenzimmer besitzen eine Liste mit möglichen Schulfächern und eine Sperrliste, in welcher definiert ist, wann der Raum nicht verfügbar ist. Die Schulfächer können definieren, ob sie einen Raum brauchen, welcher explizit dafür bestimmt ist, zum Beispiel Sport in der Turnhalle. Neben den zu verplanenden Elementen gibt es Randbedingungen wie die Pausenzeiten, die Lektionsdauer und die Definition, wann unterrichtet werden soll. Der Algorithmus erhält eine Liste mit allen Klassen, Lehrern, Schulzimmern und Schulfächern. Die Rahmenbedingungen werden in Zeitfenster umgewandelt, welche vom Algorithmus verplant werden können. Zusätzlich werden die Elemente generischer benannt, damit der Algorithmus nicht verschiedene Konfigurationen für verschiedene Planungsprobleme besitzen muss. In Listing 7.3 ist ein Beispiel für eine Eingabe der Rahmenbedingungen gezeigt, welche durch den Translator in die Zahl 36 umgewandelt wird. Die Standard-Werte, welche mit dem Flag ‘defaultTimes’ gesetzt werden, sind von 8:20 Uhr bis 17:10. Die Zahl wird aus der Lektionsdauer, den Pausen und den einzelnen Zeitfenstern pro Tag berechnet, die Tabelle 7.1 stellt dies dar.

```

1 {
2   ...
3   "configuration": {
4     "breakTimeSliceSize": [5, 20, 5, 90, 5, 20, 5],
5     "dayTimeSlots": [
6       {
7         "monday": {"defaultTimes": true},
8         "tuesday": {"defaultTimes": true},
9         "wednesday": {"from": [8, 20, 0], "to": [12,0,0]},
10        "thursday": {"defaultTimes": true},
11        "friday": {"defaultTimes": true}
12      }
13    ],
14    "lessonDuration": 45
15  }
16 }

```

Listing 7.3: Ausschnitt einer Eingabe für das Stundenplanproblem für die Rahmenbedingungen

| Uhrzeit | Mo | Di | Mi | Do | Fr |
|-----------|----|----|----|----|----|
| 0820-0905 | 1 | 9 | 17 | 21 | 29 |
| 0910-0955 | 2 | 10 | 18 | 22 | 30 |
| 1015-1100 | 3 | 11 | 19 | 23 | 31 |
| 1105-1150 | 4 | 12 | 20 | 24 | 32 |
| 1320-1405 | 5 | 13 | - | 25 | 33 |
| 1410-1455 | 6 | 14 | - | 26 | 34 |
| 1515-1600 | 7 | 15 | - | 27 | 35 |
| 1605-1650 | 8 | 16 | - | 28 | 36 |

Tabelle 7.1: Visuelle Darstellung der Zeitfenster-Berechnung

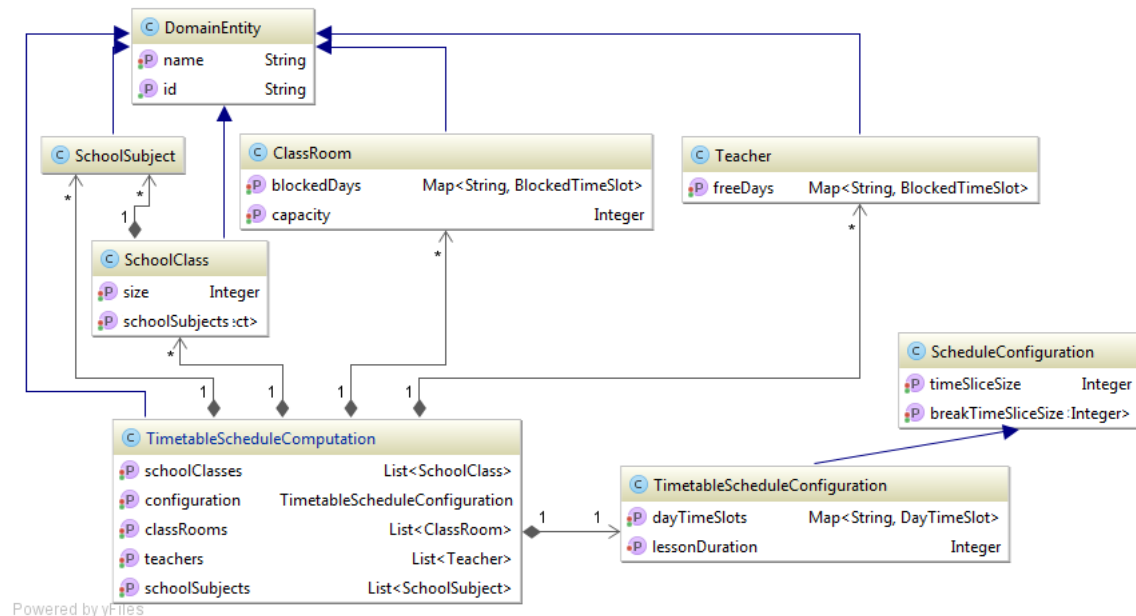


Abbildung 7.8: Eingabeparameter für eine Stundenplan-Berechnung (eigene Darstellung)

Es wird davon ausgegangen, dass der Algorithmus eine Liste von Planungskombinationen zurückgibt. Eine Kombination besteht aus einer Zeitfensternummer, einem Lehrer, einer Klasse, einem Schulfach und einem Klassenzimmer. Beim Übersetzen werden die IDs auf die ursprünglichen Elemente abgebildet, die Zeitfensternummern wieder werden in Uhrzeiten umgewandelt. Zusätzlich wird eine Statistik für die Lehrer geführt. Bei der Validierung wird überprüft, ob ein Element zu einer Zeit mehrfach verplant ist, ob der Lehrer die nötigen Fähigkeiten hat und ob ein Klassenzimmer für das Fach ausgelegt ist. Das umgewandelte Resultat enthält eine Liste mit den berechneten Kombination, sortiert nach Wochentag und Uhrzeit. Die Lehrerstatistik zeigt, wie oft ein Lehrer ein bestimmtes Fach und wie viele Stunden er insgesamt unterrichtet.

7.3.6 Spielplan Erstellung

Eine weitere Ausprägung des Planungsproblems ist das Erstellen eines Spielplans. Der Nutzer gibt eine Liste von Teams, Schiedsrichtern, Spielfeldern und Kategorien an. Die Teams gehören in eine bestimmte Kategorie. Die Schiedsrichter haben eine Liste mit Kategorien, welche sie leiten können, und eine Liste von Teams, zu welchen sie gehören. Die Spielfelder besitzen eine Liste mit möglichen Kategorien. Neben den zu verplanenden Elementen gibt es Randbedingungen wie die Spieldauer, die Startzeit und die Pausenzeiten. Der Algorithmus erhält eine Liste mit allen Teams, Schiedsrichtern, Spielfeldern und Kategorien. Zusätzlich werden die Elemente generischer benannt, damit der Algorithmus nicht verschiedene Konfigurationen für verschiedene Planungsprobleme besitzen muss.

Es wird davon ausgegangen, dass der Algorithmus eine Liste von Planungskombinationen zurückgibt. Eine Kombination besteht aus einer Zeitfensternummer, einem Schiedsrichter, einer Kombination von zwei Teams und einem Spielfeld. Beim Übersetzen werden die IDs auf die ursprünglichen Elemente abgebildet und die Zeitfensternummern werden wieder in Uhrzeiten umgewandelt. Zusätzlich wird eine Statistik über die Einsätze der Schiedsrichter und der Teams geführt. Bei der Validierung wird beachtet, ob ein Element zu einer bestimmten Zeit mehrfach verplant ist, ob die Schiedsrichter die nötigen Fähigkeiten haben und ob ein Spielfeld für die Kategorie ausgelegt ist. Der Benutzer erhält als Resultat eine Liste mit den berechneten Kombination, sortiert nach Uhrzeit. Die Schiedsrichterstatistik zeigt, wie oft ein Schiedsrichter eine bestimmte Kategorie leitet und für wie viele Spiele er insgesamt verantwortlich ist. Die Teamstatistik zeigt, wie viele Spiele eine Kategorie insgesamt hat und wie viele Spiele ein Team bestreitet. In Listing 7.4 wird ein

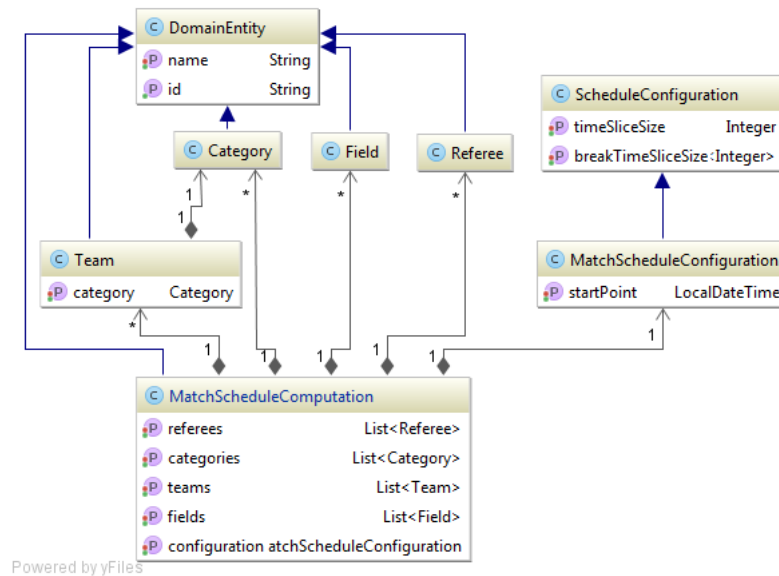


Abbildung 7.9: Eingabeparameter für eine Spielplan-Berechnung (eigene Darstellung)

Ausschnitt der Schiedsrichterstatistik dargestellt.

```

1 {
2   ...
3   name: "Sabine Pfister"
4   statisticMap: {
5     Knaben: 1
6     Damen Kat A: 3
7     Damen Kat B: 2
8     _TOTAL: 6
9   }
10  ...
11 }
  
```

Listing 7.4: Ausschnitt eines Resultats einer Spielplan Erstellung

7.3.7 Übersicht der Schnittstellen

Für den Nutzer wurde ein problem-agnostischer Name für die Schnittstelle gewählt. Die Namen unterscheiden sich somit zum Teil zwischen Nutzer- und Algorithmus-Sicht. Damit die Verknüpfung der beiden Schnittstellen nicht verloren geht, und um eine Übersicht über alle angebotenen Schnittstellen zu haben, wurden sie in der Tabelle 7.2 zusammengetragen. Die Endpunkte für die Algorithmen sind unter dem Namespace '/algorithm', damit diese beiden sauber voneinander getrennt sind.

| Nutzer | Algorithmus |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| / | /algorithm/ |
| Rucksack | |
| POST /optimalPackComputations | GET /knapsackComputations/{ID} |
| GET /optimalPackComputations/{ID} | POST /knapsackComputations/{ID}/solutions |
| Knotenfärbung | |
| POST /avoidCollisionComputations | GET /graphColoringComputations/{ID} |
| GET /avoidCollisionComputations/{ID} | POST /graphColoringComputations/{ID}/solutions |
| Problem des Handlungsreisenden | |
| POST /shortestRouteComputations | GET /tspComputations/{ID} |
| GET /shortestRouteComputations/{ID} | POST /tspComputations/{ID}/solutions |
| Briefträgerproblem | |
| POST /coverAllConnectionComputations | GET /postmanComputations/{ID} |
| GET /coverAllConnectionComputations/{ID} | POST /postmanComputations/{ID}/solutions |
| Stundenplan Erstellung | |
| POST /timetableComputations | GET /timetableComputations/{ID} |
| GET /timetableComputations/{ID} | POST /timetableComputations/{ID}/solutions |
| Spielplan Erstellung | |
| POST /matchesScheduleComputations | GET /matchesScheduleComputations/{ID} |
| GET /matchesScheduleComputations/{ID} | POST /matchesScheduleComputations/{ID}/solutions |

Tabelle 7.2: Übersicht der angebotenen Schnittstellen

7.3.8 Erstellung eines neuen Problems

Das Ziel dieser Arbeit war die Erstellung einer Schnittstelle, welche einfach zu erweitern ist. Dieser Abschnitt soll zeigen, wie dies erreicht wurde und wie sie erweitert werden kann. Das Software-Projekt ist in Packages gegliedert. Auf der ersten Ebene befinden sich die generischen Klassen. Die spezifischen Implementierungen sind unter dem Package 'problem' angesiedelt. Die Gliederung ist so gewählt, damit ein Problem nur an einem Ort im Projekt vorhanden ist und nicht an vielen verschiedenen Stellen gesucht werden muss. Es wäre auch möglich, die verschiedenen Problem-Implementationen in ein anderes Projekt auszulagern.

Um ein neues Problem in den Katalog aufzunehmen, muss ein neues Package mit dem Problemnamen erstellt werden. Darin sind weitere Packages zur besseren Übersicht definiert. Als erstes muss das Problem analysiert werden und dementsprechend die Entities für die Eingabe und das Resultat bereit gestellt werden.

Sind die Entities definiert, muss je ein Controller für den Algorithmus den Nutzer erstellt werden. Die Controller leiten von einer abstrakten Klasse ab und dienen lediglich zur Definition der neuen Endpunkte. Die Dokumentation der Controller wird in die jeweiligen Klassen geschrieben, dies erweitert automatisch die elektronische Dokumentation von Swagger UI. Zu guter Letzt müssen die beiden Translators für das Umwandeln der Nutzer-Sicht in die Algorithmus-Sicht, der Validator für das Problem und der Solver, welcher den Algorithmus startet, erstellt werden. Alles andere ist generischer Code, welcher nur noch mit den jeweiligen Entity-Typen spezifiziert werden muss.

Zum Schluss wird ein Beispiel für eine Eingabe aus Nutzer-Sicht und ein Resultat aus Algorithmus-Sicht in JSON unter den Ressourcen abgelegt. Diese Beispiele können für Tests verwendet werden.

7.4 Entwicklungsumgebung

Ein Softwareprojekt benötigt immer eine gewisse Entwicklungsumgebung. Bei der Entwicklung mit Spring Boot sind die Anforderungen minimal, da Spring Boot bereits einen eigenen Webserver beinhaltet.

7.4.1 IDE - Integrated Development Environment

Als *Integrated Development Environment* (IDE) wurde IntelliJ^[int15] verwendet, IntelliJ bietet gute Refactoring-Methoden und Unterstützung beim Programmieren von Java-Code an. Mit der IDE ist es weiter möglich, Klassen-Diagramme zu erstellen und Plugins zu installieren. Mit dem VIM-Plugin kann das VIM-Tastaturlayout benutzt werden, was die Geschwindigkeit beim Programmieren enorm erhöht.

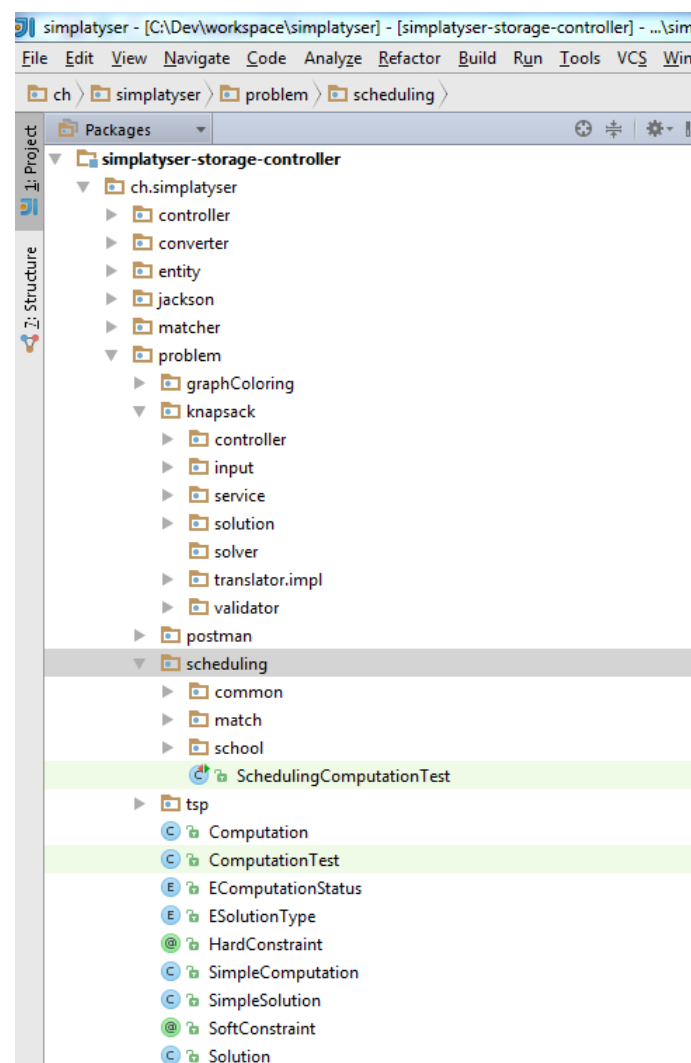


Abbildung 7.10: Darstellung der Package-Struktur in IntelliJ (eigene Darstellung)

7.4.2 Versionierung

Für die Versionierung der Software wurde git^[git15] verwendet. Das Remote Repository wurde auf Github^[San15] erstellt. Es wurde darauf geachtet, dass der Code oft ins Repository geladen wurde, damit ein Backup existiert. Die Dokumentation wurde in Dropbox^[dro15] gespeichert, damit auf verschiedenen Computern darauf zugegriffen werden konnte und immer ein Backup vorhanden war. Zu Korrekturzwecken wurde die Arbeit ebenfalls auf Github hochgeladen und die Änderungsvorschläge wurden mit Latexdiff^[lat15] verglichen.

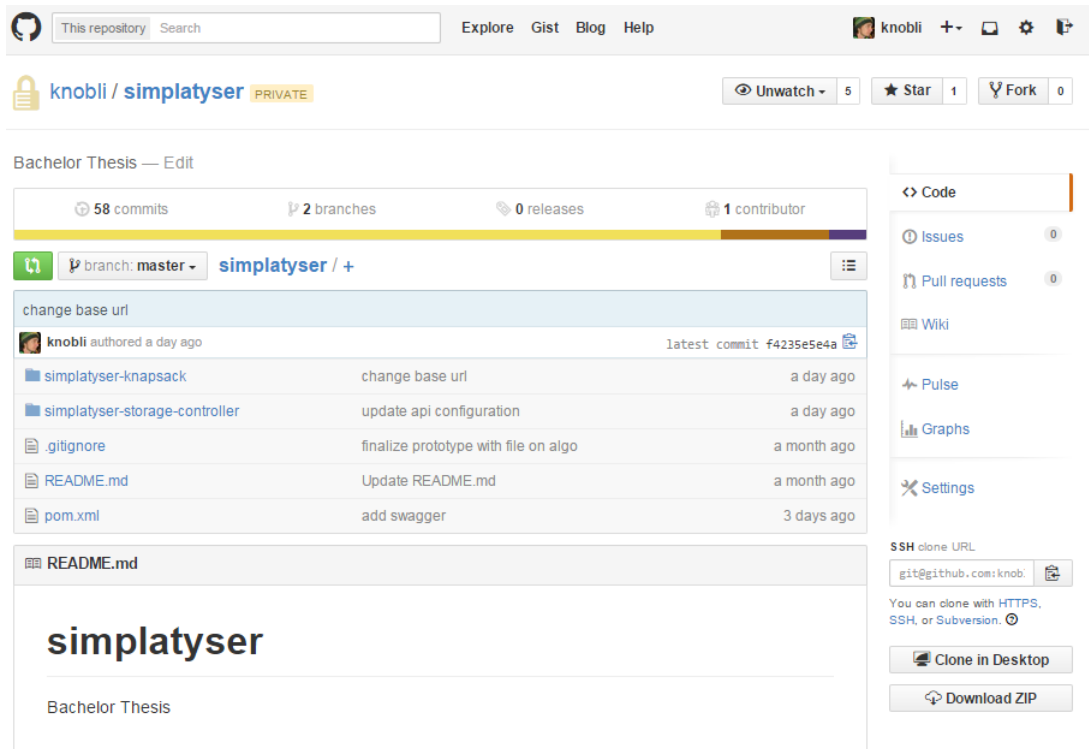


Abbildung 7.11: Github Repository des Simplatyser Projekts (eigene Darstellung)

7.4.3 Testen - Analysieren

Über die Chrome App 'Advanced REST client'^[adv15] (siehe Abbildung 7.12) wurde die Schnittstelle manuell getestet. Für die Regression-Tests wurde JUnit^[jun15] und Mockito^[moc15] verwendet. Die statische Code Analyse wurde mit *Sonar*^[son15] durchgeführt.

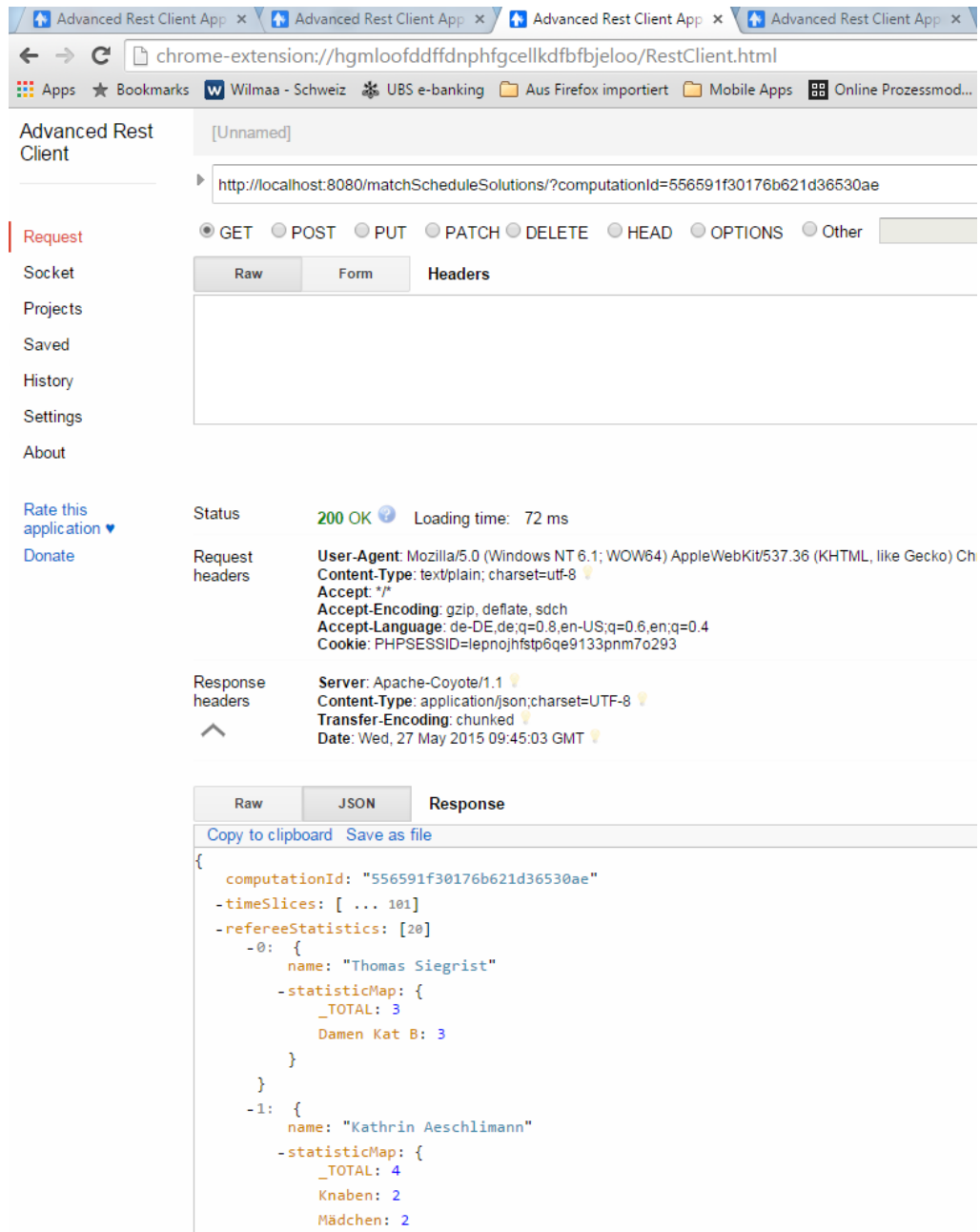


Abbildung 7.12: Advanced REST client (eigene Darstellung)

8 Tests [R6]

In diesem Kapitel wird auf das Testverfahren und die Tests für den Prototyp eingegangen.

8.1 Einführung

In diesem Projekt wurden die sieben Grundsätze aus^[SL12] als Leitlinie zum Testen verwendet:

1. **Testen zeigt die Anwesenheit von Fehlern:** Die Testabdeckung wurde mit Hilfe von IntelliJ ermittelt und anhand des Testsprotokolls überprüft, ob alle Bereiche abgedeckt wurden.
2. **Vollständiges Testen ist nicht möglich:** Es wurde solange getestet bis alle Akzeptanzkriterien abgedeckt waren und die Testabdeckung gut genug war.
3. **Mit dem Testen frühzeitig beginnen:** Die Unit Tests für neue Funktionen wurden möglichst zeitnah oder zur gleichen Zeit geschrieben.
4. **Häufung von Fehlern:** Wenn Fehler in einer Komponente auftraten, dann wurde diese nach der Behebung nochmals intensiv getestet und zusätzliche Tests erfasst.
5. **Zunehmende Testresistenz (Pesticide paradox):** Jede Änderungen am Code hatte auch eine Anpassung oder Erweiterung der Tests zur Folge.
6. **Testen ist abhängig vom Umfeld:** Der Prototyp ist nicht sicherheitskritisch, jedoch wurde Wert auf eine hohe Testabdeckung gelegt. Es wurden zusätzlich immer wieder End-zu-End Tests mit den verschiedenen Problemen durchgeführt.
7. **Trugschluss: Keine Fehler bedeutet ein brauchbares System:** Die Schnittstelle wurde dem Stakeholder demonstriert und erklärt bevor das Projekt zu Ende war. So konnten allfällige Missverständnisse frühzeitig erkannt werden. Die hohe Testabdeckung trägt ebenfalls zur Aufdeckung von unbemerkten Fehlern bei.

8.2 Testing

Komponententests und Integrationstests, bekannt aus^[SL12], wurden bei der Schnittstelle mit JUnit und Mockito durchgeführt. Bei den Integrationstests wurde eine Testdatenbank verwendet, welche bei jedem Testlauf neu initialisiert wird. Die Ausgangslage ist somit für jeden Durchlauf identisch. Für die Analyse der Testabdeckung wurde IntelliJ verwendet und die statische Code Analyse wurde mit Sonar ausgeführt. Neben den automatischen Tests wurden immer wieder manuelle Tests durchgeführt, um auch das Nutzererlebnis zu testen.

8.2.1 Testabdeckung

Es konnte nahezu eine 90% Testabdeckung über das ganze Projekt erreicht werden (siehe Abbildung 8.1). Unter den nicht getesteten Klassen und Methoden sind Konfigurationsdateien und private Konstruktoren, welche nicht bzw. nur schwierig zu testen sind. Bei den Tests konnte ebenfalls von dem generischen Aufbau profitiert werden, sodass die Controller und Services mit sehr wenig spezifischem Code getestet werden konnten.

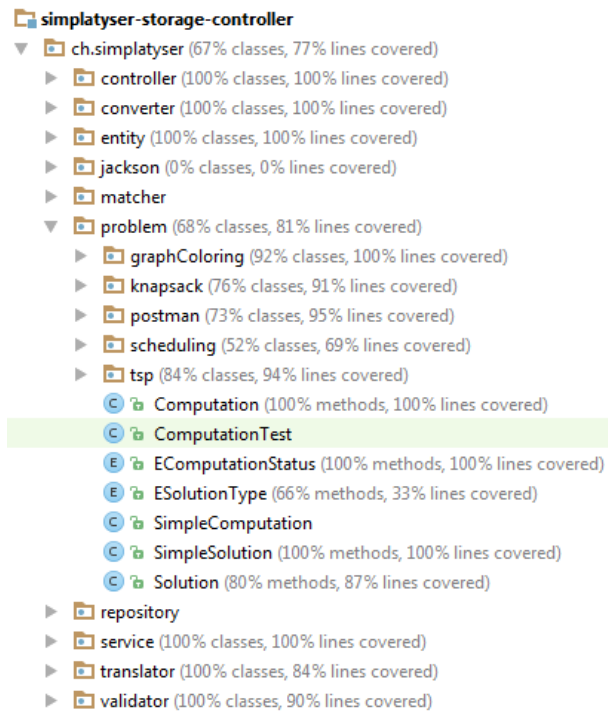


Abbildung 8.1: Analyse der Testabdeckung des Projekts (eigene Darstellung)

8.3 Systemtest

Als Abschluss des Projekts wurde ein Systemtest durchgeführt, für welcher ein Testprotokoll erstellt wurde. Das Protokoll zeigt dem Kunden die Testabfolge und das Ergebnis.

8.3.1 Testprotokoll

Das Testprotokoll basiert auf den Use Cases (siehe Abschnitt 5.2.1) und den Anforderungen (Abschnitt 5.2.2). Akzeptanzkriterien mit UND- oder ODER-Verknüpfung wurden aufgesplittet, um sicher zu gehen, dass beide Bedingungen erfüllt sind.

Tabelle 8.1: Testprotokoll

| ID | Test | Herkunft | nicht / teilweise / erfüllt |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| 1 | Der Nutzer kann eine Schnittstelle für die bereitgestellte Berechnungsfunktionen ansprechen. | Anforderung RF-F1 | erfüllt |
| 2 | Die Parameter sind persistent. | Anforderung RF-F2 | erfüllt |
| 3a | Es gibt eine Fehlermeldung, falls bei der Speicherung etwas fehlschlägt | Anforderung RF-F2 | erfüllt |
| 3b | oder die Eingabeparameter nicht gültig sind. | Anforderung RF-F2 | erfüllt |
| 4 | Der Nutzer erhält nach dem Start einer Berechnung eine ID. | Anforderung RF-F3 | erfüllt |

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tabelle 8.1 (Fortsetzung): Testprotokoll

| ID | Test | Herkunft | nicht / teilweise / erfüllt |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 5a | Der Befehl für den Start wird versendet | Anforderung RF-F4 | erfüllt |
| 5b | und die ID dabei übergeben. | Anforderung RF-F4 | erfüllt |
| 6 | Die Fehlermeldung bei einem Fehlversuch wird gespeichert. | Anforderung RF-F4 | erfüllt |
| 7 | Das Verarbeitungssystem erhält die Eingabeparameter. | Anforderung RF-F5 | erfüllt |
| 8 | Das Verarbeitungssystem erhält eine Fehlermeldung, falls keine Eingabeparameter vorhanden sind. | Anforderung RF-F5 | erfüllt |
| 9 | Der Nutzer erhält einen Status seiner Berechnung. | Anforderung RF-F6 | erfüllt |
| 10 | Der Nutzer wird über die Änderungen des Status auf dem eingetragenen Dienst informiert. | Anforderung RF-F7 | erfüllt |
| 11 | Das Verarbeitungssystem kann das Resultat abspeichern. | Anforderung RF-F8 | erfüllt |
| 12 | Das Verarbeitungssystem erhält eine Fehlermeldung, falls das Speichern fehlgeschlagen ist. | Anforderung RF-F8 | erfüllt |
| 13 | Der Nutzer erhält das Resultat der Berechnung. | Anforderung RF-F9 | erfüllt |
| 14 | Der Nutzer erhält eine entsprechende Fehlermeldung, wenn beim Bereitstellen des Resultats ein Fehler aufgetreten ist. | Anforderung RF-F9 | erfüllt |
| 15 | Das Interface kann verwendet werden, ohne dass das Verarbeitungssystem bekannt ist. | Qualitätsanforderung RF-NF1 | erfüllt |
| 16 | Unterschiedliche Ausprägungen eines Problems benutzen das gleiche API. | Qualitätsanforderung RF-NF2 | teilweise erfüllt |
| 17 | Unterschiedliche Probleme haben kein abweichendes Persistierungsschema. | Qualitätsanforderung RF-NF3 | erfüllt |
| 18 | Die Schnittstelle kann mit wenig Aufwand erweitert werden. | Qualitätsanforderung RF-NF4 | erfüllt |

9 Schlussfolgerungen

In diesem Kapitel wird kurz auf den ersten Einsatz des Produkts, das Fazit des Verfassers und den Ausblick der Schnittstelle eingegangen.

9.1 Verwendung

Während der Projektzeit konnte der Spielplan des Auffahrtsturniers des Turnvereins Grafstals validiert werden. Dieser Spielplan wird von Hand erstellt. Dabei unterlaufen immer wieder kleine Patzer, was bei einer Planung von etwa 110 Spielen und Schiedsrichtern, welche zudem Coaches für bis zu drei Teams sind, nicht verwunderlich ist. Diese Aufgabe hat zum einen die Schnittstelle getestet, hat jedoch auch dem Verein geholfen, da auch dieses Jahr zwei kleine Fehler auftauchten. Der Turnverein hat sich bereits sehr für die vollautomatische Lösung interessiert.

9.2 Fazit

Das Erstellen eines Konzepts einer solchen Schnittstelle stellte sich als spannend heraus. Die Recherche und die Analyse der Probleme mit hoher Laufzeitkomplexität war fesselnd und es bestand die Gefahr, sich darin zu verlieren. Das Gebiet der theoretischen Informatik ist extrem weitreichend und die Probleme können beliebig komplex werden. Es war schnell klar, dass es schwierig sein wird, eine generische Lösung für alle Probleme zu finden. Das Konzept mit dem pre- und post-Aktionen ist jedoch eine elegante Lösung, welche viel Flexibilität bietet. Der Ablauf einer Berechnung konnte generisch gehalten werden und somit ist die Machbarkeitsstudie als erfolgreich zu betrachten.

Die Auswahl der Probleme hat sich als facettenreich herausgestellt und das Auswahlverfahren hat sich bewährt. Es ist spannend, dass die beiden Probleme aus dem Bereich ‘Netzwerk Design’ viele Ähnlichkeiten aufzeigen, jedoch mit komplett anderen Algorithmen gelöst werden. Die beiden Planungsprobleme sind sich relativ ähnlich und könnten wahrscheinlich mit einem generischen Algorithmus gelöst werden. Der grösste Unterschied liegt darin, dass bei einem Spielplan zwei Mannschaften gleichzeitig auf einem Platz sind, bei einem Stundenplan jedoch nur eine Klasse im Klassenzimmer ist. Der Code der Schnittstelle konnte für die beiden Planungsprobleme auch viel generischer gehalten werden als für diejenigen aus dem Bereich ‘Netzwerk Design’.

Der Entscheid, eine dokumentorientierte Datenbank zu verwenden, war gut. Die Flexibilität der Datenbank kam dem Projekt zugute und es wurden auch keine bekannten Funktion von relationalen Datenbanken vermisst. Spring Boot ist für einen Prototyp angenehm, da es schon viel mitbringt. Dies kann jedoch auch zu Problemen führen, da die Versionen der Libraries nicht selber verwaltet werden können.

Durch das Projekt habe ich viel über die theoretische Informatik gelernt. Mir ist bewusst geworden, dass auch alltägliche Dinge ziemlich schnell komplex werden können und ihre Lösung nur noch mit optimierten Algorithmen gelöst werden können. Es ist erschreckend und faszinierend zu gleich, wie komplex vor allem die Planungsprobleme sind. Bei diesen Problemen gibt es so viele Möglichkeiten, auch die andere Probleme können sehr vielseitig sein, wenn sie etwas erweitert werden. Es war schwierig, ein Mittelweg zu finden, bei welchem ich mich nicht im Detail verlor, aber trotzdem zur korrekten Evaluation der Machbarkeitsanalyse beitrug.

Ich bin mit dem Konzept und dem entstanden Prototypen zufrieden und freue mich nun auf die Planung der nächsten Schritte. Mit Spannung erwarte ich die ersten realen Kunden, welche diese Schnittstelle verwenden und ich bin gespannt, wohin sich dieses Projekt entwickeln wird. Ich bin mir bewusst, dass die Schnittstelle noch keine Produktionsreife hat. Es benötigt jedoch nicht mehr viel bis die ersten Turnierpläne vollautomatisch erstellt werden können.

9.3 Ausblick

Das Konzept ist nun ausgearbeitet, jetzt wird eine automatisierte Lösung angestrebt. Als nächstes wird die Integration von zwei Teilprojekten geplant. Dabei handelt es sich um die Entwicklung eines Verarbeitungssystems mit einer eigenen Cloud Lösung und um die Ansteuerung eines generischen Planungsalgorithmus. Danach wird es weiteren Entwicklungsaufwand geben, da eine Webseite für die Eingabe für Kleinkunden angedacht ist. Da die Endlösung schliesslich dem Nutzer eine ungefähre Berechnungszeit angeben möchte, wird zusätzlich eine Berechnungskomponente benötigt. Diese Komponente wird wahrscheinlich mittels Heuristiken und alten Resultaten eine Zeitextrapolation erstellen. Der Grundstein für diese Berechnung ist mit dem vorgestellten Konzept bereits gelegt, da die Zwischenresultate und Endresultate einen Zeitstempel enthalten. Dadurch kann berechnet werden, wie lange die Berechnung zu einem gewissen Resultat gedauert hat. In Abbildung 9.1 ist das Konzept des übergeordneten Projekts dargestellt, von welchem Teile des User API und der Data Controllers in diesem Projekt behandelt wurden.

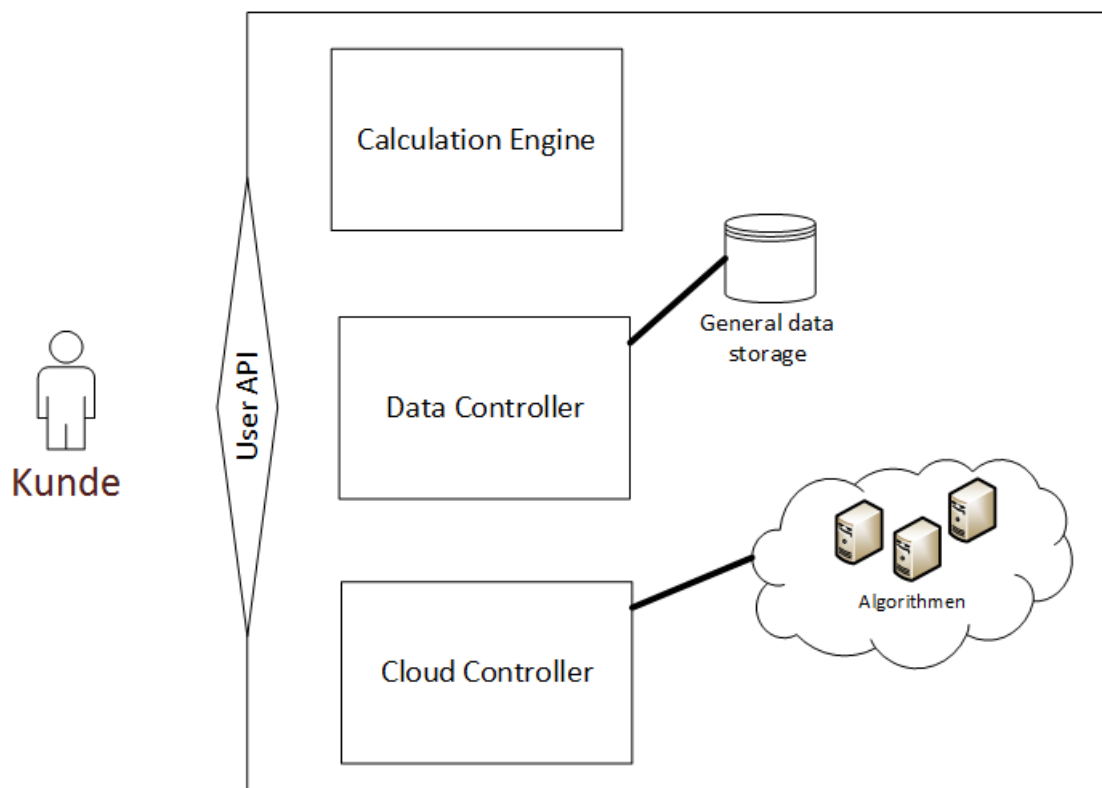


Abbildung 9.1: Konzept des übergeordneten Projekts (eigene Darstellung)

A Anhang

A.1 Risikoanalyse des Projekts

Jedes Projekt birgt Risiken. Werden diese nicht am Anfang analysiert und über die gesamte Projektlaufzeit überwacht, kann es zu grossen Schwierigkeiten kommen. Die angewandten Methoden sind aus^[HHMS09] und aus dem dem Management Fach Projekt und Prozessmanagement bekannt.

A.1.1 Risikoermittlung

Die Risikoermittlung wird zur Bestimmung und Folgenabschätzung möglicher Risiken angewendet.

| Risiko | Mögliche Folgen |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Implementationsschwierigkeiten | <ul style="list-style-type: none">• Zeitplan nicht einhaltbar• Einige Anforderungen müssen zurückgestellt werden• Projektarbeit kann nicht durchgeführt werden |
| Zeitengpässe | <ul style="list-style-type: none">• Zeitplan nicht einhaltbar• Einige Anforderungen müssen zurückgestellt werden• Projektarbeit kann nicht durchgeführt werden |
| Mangelhaftes Endprodukt | <ul style="list-style-type: none">• Produkt muss überarbeitet werden, da keine Abnahme durch den Stakeholder erfolgt |
| Anforderungen nicht vollständig | <ul style="list-style-type: none">• Wichtige Funktionen stehen den Benutzern nicht zur Verfügung |

Tabelle A.1: Risikoermittlung

A.1.2 Risikobewertung

Das Schadensausmass und die Eintrittswahrscheinlichkeit der Risiken sind nach folgendem Schema bewertet worden:

| Wert | Eintrittswahrscheinlichkeit | Schadensausmass |
|------|-----------------------------|------------------|
| 1 | sehr unwahrscheinlich | vernachlässigbar |
| 2 | unwahrscheinlich | spürbar |
| 3 | wenig wahrscheinlich | verkraftbar |
| 4 | ziemlich wahrscheinlich | gefährlich |
| 5 | sehr wahrscheinlich | katastrophal |

Tabelle A.2: Risikobewertungsschema

Die Risiken aus der Risikobewertung (siehe A.1.1) wurden anhand dieses Schemas bewertet.

$$\text{Risikofaktor} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} * \text{Schadensausmass}$$

| Risiko | Eintrittswahrscheinlichkeit | Schadensausmass | Risikofaktor |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------|--------------|
| Implementierungsschwierigkeiten | 3 | 4 | 12 |
| Zeitengpässe | 2 | 5 | 10 |
| Mangelhaftes Endprodukt | 2 | 4 | 8 |
| Anforderungen nicht vollständig | 2 | 2 | 4 |

Tabelle A.3: Risikobewertung

A.1.3 Risikomatrix

Anhand der Risikobeurteilung konnten die Risiken in eine Risikomatrix eingesetzt werden. Diese Matrix bietet einen guten Überblick über die Risiken und zeigt schnell, welche Risiken beachtet werden müssen.

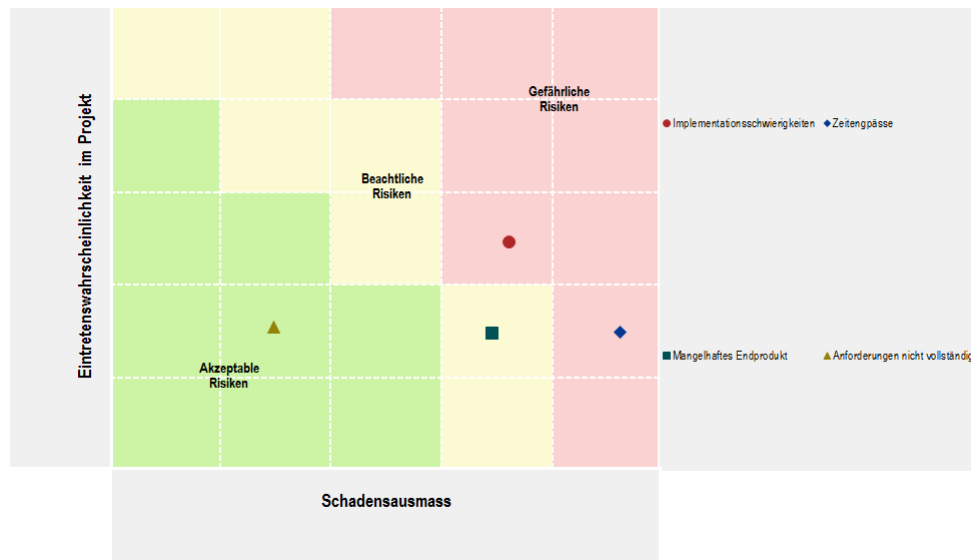


Abbildung A.1: Risikomatrix

A.1.4 Massnahmen

Es wurden Massnahmen für die gefundenen Risiken gesucht und festgehalten. Die Massnahmen sind wiederum in vorbeugende Massnahmen und Eventualmassnahmen unterteilt.

| Risiko | Massnahmen | |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Vorbeugende Massnahmen | Eventualmassnahmen |
| Implementationsschwierigkeiten | <ul style="list-style-type: none"> • Im Zeitplan genügen Reserver einrechnen • Kontaktpersonen zum Thema suchen • Zeitplan einhalten, pünktlich mit den Arbeiten beginnen | <ul style="list-style-type: none"> • Betreuer / Schulleitung informieren • Verschiebungsgesuch stellen |
| Zeitengpässe | <ul style="list-style-type: none"> • Fixe Zeiten einplanen • Tätigkeiten priorisieren | <ul style="list-style-type: none"> • Vorgezogene Präsentation verschieben • Verschiebungsgesuch stellen |
| Mangelhaftes Endprodukt | <ul style="list-style-type: none"> • Anforderungskatalog sauber erstellen • Kunden laufend über den Stand des Produktes informieren | <ul style="list-style-type: none"> • Lösung mit dem Kunden suchen • Projekt verlängern |
| Anforderungen nicht vollständig | <ul style="list-style-type: none"> • Review des Anforderungskataloges • Kunden laufend über den Stand des Produktes informieren | <ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen werden aufgenommen und in einen nächsten Release geplant |

Tabelle A.4: Risikoanalyse – Massnahmen

A.2 Schnittstellen Dokumentation

Die Beispiele sind in JSON, es ist jedoch auch sehr einfach möglich die Schnittstelle für XML, YAML oder andere Formate zu erweitern

A.2.1 Rucksack

POST /optimalPackComputations - Erstellung einer neuen Rucksack-Berechnung

Erstellt eine neue Berechnung des Rucksack-Problems und speichert sie in die Datenbank.

Status Codes:

200 - OK: Berechnung wurde erstellt, zusätzlich erhält der Nutzer noch die ID der Berechnung.

400 - Bad Request: Die Validierung der Eingabedaten ist fehlgeschlagen.

```
1 {
2   "name": "<Berechnungsname>",
3   "maxWeight": <Gewichtsschranke>,
4   "items": [
5     {
6       "id": "<Objekt ID (optional)>",
7       "name": "<Objekt Name>",
8       "weight": <Gewicht>,
9       "profit": <Profit>,
10      "count": <Anzahl (optional)>
11    }
12  ]
13 }
```

Listing A.1: Beispiel einer Eingabe für das Rucksack-Problem

GET /algorithm/knapsackComputations/{ID} - Abrufen der Eingabedaten einer Rucksack-Berechnung

Ruft die Eingabedaten einer bestimmten Berechnung des Rucksack-Problems ab. Die Daten werden in der Schnittstelle zuerst für den Algorithmus umgewandelt.

Status Codes:

200 - OK: Die Eingabedaten wurden gefunden und zurückgeben.

404 - Not Found: Die Eingabedaten wurden nicht gefunden.

```
1 {
2   "id": "<Berechnung ID>",
3   "maxWeight": <Gewichtsschranke>,
4   "items": [
5     {
6       "id": "<Objekt ID>",
7       "weight": <Gewicht>,
8       "profit": <Profit>
9     }
10  ]
11 }
```

Listing A.2: Beispiel für Eingabedaten des Rucksack-Problems für den Algorithmus

POST /algorithm/knapsackComputations/{ID}/solutions - Speichern einer Lösung für eine Rucksack-Berechnung

Speichert eine mögliche Lösung für eine Berechnung des Rucksack-Problems. Die Lösung wird zuerst für den Nutzer umgewandelt und danach noch validiert.

Status Codes:

200 - OK: Lösung wurde gespeichert.

400 - Bad Request: Die Validierung der Lösung zeigt Fehler auf, zusätzlich werden die Validierungsfehler mitgegeben.

```

1 {
2   "solutionType": "<Resultat Typ (PARTIAL | FINAL)>",
3   "fitness": <Profit des Resultates>,
4   "items": [<Liste der Boolean-Werte>]
5 }
```

Listing A.3: Beispiel eines Resultates für das Rucksack-Problem aus Algorithmus-Sicht

GET /optimalPackComputations/{ID} - Abrufen des Status einer Rucksack-Berechnung

Ruft den Status und die Endresultate einer bestimmten Berechnung des Rucksack-Problems ab, die Daten werden direkt aus der Datenbank genommen, da sie dort in Nutzer-Sicht abgespeichert sind.

Status Codes:

200 - OK: Das Endresultat wurde gefunden und zurückgeben.

404 - Not Found: Keine Berechnung gefunden.

```

1 {
2   "computationId": "<Berechnung ID>",
3   "profit": <Profit des Resultates>,
4   "items": [
5     {
6       "id": "<Objekt ID>",
7       "name": "<Objekt Name>",
8       "weight": <Gewicht>,
9       "profit": <Profit>,
10      "count": <Anzahl>
11    }
12  ]
13 }
```

Listing A.4: Beispiel eines Endresultates für das Rucksack-Problem

A.2.2 Knotenfärbung

POST /avoidCollisionComputations - Erstellung einer neuen Knotenfärbungsberechnung

Erstellt eine neue Berechnung des Knotenfärbungsproblems und speichert sie in die Datenbank.

Status Codes:

200 - OK: Berechnung wurde erstellt, zusätzlich erhält der Nutzer noch die ID der Berechnung.

400 - Bad Request: Die Validierung der Eingabedaten ist fehlgeschlagen.

```

1 {
2   "name": "<Berechnungsname>",
3   "items": [
4     {
5       "id": "<Element ID (optional)>",
6       "name": "<Element Name>",
7       "neighbors": [<Benachbarte Elemente>]
8     }
9   ],
```

```

10  "possibleValues": [<Moegliche Werte>]
11  }

```

Listing A.5: Beispiel einer Eingabe für das Knotenfärbungsproblem

GET /algorithm/graphColoringComputations/{ID} - Abrufen der Eingabedaten einer Knotenfärbungsberechnung

Ruft die Eingabedaten einer bestimmten Berechnung des Knotenfärbungsproblems ab. Die Daten werden in der Schnittstelle zuerst für den Algorithmus umgewandelt.

Status Codes:

200 - OK: Die Eingabedaten wurden gefunden und zurückgeben.

404 - Not Found: Die Eingabedaten wurden nicht gefunden.

```

1  {
2    "id": "<Berechnung ID>",
3    "items": [
4      {
5        "id": "<Element ID>",
6        "neighbors": [<Benachbarte Elemente>]
7      }
8    ]
9  }

```

Listing A.6: Beispiel für Eingabedaten des Knotenfärbungsproblems für den Algorithmus

POST /algorithm/graphColoringComputations/{ID}/solutions - Speichern einer Lösung für eine Knotenfärbungsberechnung

Speichert eine mögliche Lösung für eine Berechnung des Knotenfärbungsproblems. Die Lösung wird zuerst für den Nutzer umgewandelt und danach noch validiert.

Status Codes:

200 - OK: Lösung wurde gespeichert.

400 - Bad Request: Die Validierung der Lösung zeigt Fehler auf, zusätzlich werden die Validierungsfehler mitgegeben.

```

1  {
2    "solutionType": "<Resultat Typ (PARTIAL | FINAL)>",
3    "differentValues": <Anzahl verschiedene Werte>,
4    "items": [
5      {
6        "id": "<Element name>",
7        "value": "<Zugewiesener Wert>"
8      }
9    ]
10 }

```

Listing A.7: Beispiel eines Resultates für das Knotenfärbungsproblems aus Algorithmus-Sicht

GET /graphColoringComputations/{ID} - Abrufen des Status einer Knotenfärbungsberechnung

Ruft den Status und die Endresultate einer bestimmten Berechnung des Knotenfärbungsproblems ab, die Daten werden direkt aus der Datenbank genommen, da sie dort in Nutzer-Sicht abgespeichert sind.

Status Codes:

200 - OK: Das Endresultat wurde gefunden und zurückgeben.

404 - Not Found: Keine Berechnung gefunden.

```

1 {
2   "computationId": "<Berechnung ID>",
3   "differentValues": <Anzahl verschiedene Werte>,
4   "items": [
5     {
6       "id": "<Element name>",
7       "value": "<Zugewiesener Wert (ersetzt durch angegebene
8         Werte)>"
9     }
10  ]
11 }

```

Listing A.8: Beispiel eines Endresultates für das Knotenfärbungsproblems

A.2.3 Problem des Handlungsreisenden

POST /shortestRouteComputations - Erstellung einer neuen Routenberechnung

Erstellt eine neue Berechnung des Problems des Handlungsreisenden und speichert sie in die Datenbank.

Status Codes:

200 - OK: Berechnung wurde erstellt, zusätzlich erhält der Nutzer noch die ID der Berechnung.

400 - Bad Request: Die Validierung der Eingabedaten ist fehlgeschlagen.

```

1 {
2   "name": "<Berechnungsname>",
3   "waypoints": [
4     {
5       "id": "<Wegpunkt ID (optional)>",
6       "name": "<Wegpunkt Name>",
7       "duration": <Aufenthaltszeit>,
8       "wishedArrival": <Gewuenschte Ankunftszeit>
9     }
10  ],
11   "configuration": {
12     "startPoint": {
13       "id": "<Wegpunkt ID (optional)>",
14       "name": "<Wegpunkt Name>"
15     },
16     "startTime": <Startzeit>,
17     "maxArrivalVariance": <Maximale Abweichung bei den
18       Akunftszeiten>
19   }
20 }

```

Listing A.9: Beispiel einer Eingabe für das Problem des Handlungsreisenden

GET /algorithm/tspComputations/{ID} - Abrufen der Eingabedaten einer Routenberechnung
 Ruft die Eingabedaten einer bestimmten Berechnung des Problems des Handlungsreisenden ab.
 Die Daten werden in der Schnittstelle zuerst für den Algorithmus umgewandelt.

Status Codes:

200 - OK: Die Eingabedaten wurden gefunden und zurückgegeben.

404 - Not Found: Die Eingabedaten wurden nicht gefunden.

```

1 {
2   "id": "<Berechnung ID>",
3   "waypoints": [
4     {
5       "id": "<Wegpunkt ID>",
6       "name": "<Wegpunkt Name>",
7       "duration": <Aufenthaltszeit>,
8       "wishedArrival": <Gewuenschte Ankunftszeit>
9     }
10  ],
11  "configuration": {
12    "startPoint": {
13      "id": "<Wegpunkt ID>",
14      "name": "<Wegpunkt Name>"
15    },
16    "startTime": <Startzeit>,
17    "maxArrivalVariance": <Maximale Abweichung bei den
18                          Akunftszeiten>
19  }
20 }

```

Listing A.10: Beispiel für Eingabedaten des Problem des Handlungsreisenden für den Algorithmus

POST /algorithm/tspComputations/{ID}/solutions - Speichern einer Lösung für eine Routenberechnung

Speichert eine mögliche Lösung für eine Berechnung des Problems des Handlungsreisenden. Die Lösung wird zuerst für den Nutzer umgewandelt und danach noch validiert.

Status Codes:

200 - OK: Lösung wurde gespeichert.

400 - Bad Request: Die Validierung der Lösung zeigt Fehler auf, zusätzlich werden die Validierungsfehler mitgegeben.

```

1 {
2   "solutionType": "<Resultat Typ (PARTIAL | FINAL)>",
3   "totalLength": <Totale Laenge>,
4   "waypoints": [
5     {
6       "name": "<Wegpunkt Name>"
7     }
8   ]
9 }

```

Listing A.11: Beispiel eines Resultates für das Problem des Handlungsreisenden aus Algorithmus-Sicht

GET /shortestRouteComputations/{ID} - Abrufen des Status einer Routenberechnung

Ruft den Status und die Endresultate einer bestimmten Berechnung des Problems des Handlungsreisenden ab, die Daten werden direkt aus der Datenbank genommen, da sie dort in Nutzer-Sicht abgespeichert sind.

Status Codes:

200 - OK: Das Endresultat wurde gefunden und zurückgeben.

404 - Not Found: Keine Berechnung gefunden.

```

1 {
2   "computationId": "<Berechnung ID>",
3   "totalLength": <Totale Laenge>,
4   "plannedArrival": <Geplante Endankunftszeit>,
5   "waypoints": [
6     {
7       "id": "<Wegpunkt ID>",
8       "name": "<Wegpunkt Name>",
9       "duration": <Aufenthaltszeit>,
10      "wishedArrival": <Gewuenschte Ankunftszeit>,
11      "plannedArrival": <Geplante Ankunftszeit>
12    }
13  ]
14 }

```

Listing A.12: Beispiel eines Endresultates für das Problem des Handlungsreisenden

A.2.4 Briefträgerproblem

POST /coverAllConnectionComputations - Erstellung einer neuen Routenberechnung
Erstellt eine neue Berechnung des Briefträgerproblems und speichert sie in die Datenbank.

Status Codes:

200 - OK: Berechnung wurde erstellt, zusätzlich erhält der Nutzer noch die ID der Berechnung.

400 - Bad Request: Die Validierung der Eingabedaten ist fehlgeschlagen.

```

1 {
2   "name": "<Berechnungsname>",
3   "items": [
4     {
5       "id": "<Wegpunkt ID (optional)>",
6       "name": "<Wegpunkt Name>",
7       "connections": [
8         {
9           "item": {<Wegpunkt>},
10          "length": <Distanz>
11        }
12      ]
13    }
14  ],
15   "startPoint": {
16     "id": "<Wegpunkt ID (optional)>",
17     "name": "<Wegpunkt Name>",
18     "connections": [
19       {
20         "item": {<Wegpunkt>},
21         "length": <Distanz>
22       }
23     ]
24   }
25 }

```

Listing A.13: Beispiel einer Eingabe für das Briefträgerproblem

GET /algorithm/postmanComputations/{ID} - Abrufen der Eingabedaten einer Routenberechnung

Ruft die Eingabedaten einer bestimmten Berechnung des Briefträgerproblems ab. Die Daten werden in der Schnittstelle zuerst für den Algorithmus umgewandelt.

Status Codes:

200 - OK: Die Eingabedaten wurden gefunden und zurückgeben.

404 - Not Found: Die Eingabedaten wurden nicht gefunden.

```

1 {
2   "id": "<Berechnung ID>",
3   "items": [
4     {
5       "id": "<Wegpunkt ID>",
6       "name": "<Wegpunkt Name>",
7       "connections": [
8         {
9           "item": {<Wegpunkt>},
10          "length": <Distanz>
11        }
12      ]
13    }
14  ],
15  "startPoint": {
16    "id": "<Wegpunkt ID (optional)>",
17    "name": "<Wegpunkt Name>",
18    "connections": [
19      {
20        "item": {<Wegpunkt>},
21        "length": <Distanz>
22      }
23    ]
24  }
25 }
```

Listing A.14: Beispiel für Eingabedaten des Briefträgerproblems für den Algorithmus

POST /algorithm/postmanComputations/{ID}/solutions - Speichern einer Lösung für eine Routenberechnung

Speichert eine mögliche Lösung für eine Berechnung des Briefträgerproblems. Die Lösung wird zuerst für den Nutzer umgewandelt und danach noch validiert.

Status Codes:

200 - OK: Lösung wurde gespeichert.

400 - Bad Request: Die Validierung der Lösung zeigt Fehler auf, zusätzlich werden die Validierungsfehler mitgegeben.

```

1 {
2   "solutionType": "<Resultat Typ (PARTIAL | FINAL)>",
3   "items": [
4     {
5       "id": "<Wegpunkt ID>"
6     }
7   ]
8 }
```

Listing A.15: Beispiel eines Resultates für das Briefträgerproblem aus Algorithmus-Sicht

GET /coverAllConnectionComputations/{ID} - Abrufen des Status einer Routenberechnung
 Ruft den Status und die Endresultate einer bestimmten Berechnung des Briefträgerproblems ab, die Daten werden direkt aus der Datenbank genommen, da sie dort in Nutzer-Sicht abgespeichert sind.

Status Codes:

200 - OK: Das Endresultat wurde gefunden und zurückgeben.

404 - Not Found: Keine Berechnung gefunden.

```

1 {
2   "computationId": "<Berechnung ID>",
3   "items": [
4     {
5       "id": "<Wegpunkt ID>",
6       "name": "<Wegpunkt Name>"
7     }
8   ],
9   "totalLength": <Totale Laenge>
10 }
```

Listing A.16: Beispiel eines Endresultates für das Briefträgerproblem

A.2.5 Stundenplan Erstellung

POST /timetableComputations - Erstellung einer neuen Stundenplan-Berechnung

Erstellt eine neue Berechnung des Stundenplanproblems und speichert sie in die Datenbank.

Status Codes:

200 - OK: Berechnung wurde erstellt, zusätzlich erhält der Nutzer noch die ID der Berechnung.

400 - Bad Request: Die Validierung der Eingabedaten ist fehlgeschlagen.

```

1 {
2   "name": "<Berechnungsname>",
3   "schoolClasses": [
4     {
5       "id": "<ID Klasse>",
6       "name": "<Klassenname>",
7       "schoolSubjects": [
8         {
9           "id": "<ID Schulfach>"
10        }
11      ],
12      "size": <Groesse der Klasse>
13    }
14  ],
15  "teachers": [
16    {
17      "id": "<ID Lehrer>",
18      "name": "<Name des Lehrers>",
19      "skills": [
20        {
21          "id": "<ID Schulfach>"
22        }
23      ],
24      "associations": [
25        {
26          "id": "<ID Klasse (optional)>"
```

```

27     }
28   ],
29   "freeDays": [
30     {
31       "<Wochentag>": {
32         "from": <Startzeit (optional)>,
33         "to": <Endzeit (optional)>,
34         "morning": <Am Morgen (optional)>,
35         "afternoon": <Am Nachmittag (optional)>,
36         "wholeDay": <Ganzer Tag (optional)>
37       }
38     }
39   ],
40 }
41 ],
42 "classRooms": [
43   {
44     "id": "<ID Klassenzimmer>",
45     "name": "<Klassenzimmername>",
46     "allowedSkills": [
47       {
48         "id": "<ID Schulfach (optional)>"
49       }
50     ],
51     "blockedDays": [
52       {
53         "<Wochentag>": {
54           "from": <Startzeit (optional)>,
55           "to": <Endzeit (optional)>,
56           "morning": <Am Morgen (optional)>,
57           "afternoon": <Am Nachmittag (optional)>,
58           "wholeDay": <Ganzer Tag (optional)>
59         }
60       }
61     ],
62     "capacity": < Fassungsvermoegen >
63   }
64 ],
65 "schoolSubjects": [
66   {
67     "id": "<ID Schulfach>",
68     "name": "<Schulfachname>",
69     "explicitLocation": <Explizites Schulzimmer (optional)>
70   }
71 ],
72 "configuration": {
73   "breakTimeSliceSize": [<Pausenzeiten>],
74   "dayTimeSlots": [
75     {
76       "<Wochentag>": {
77         "from": <Startzeit (optional)>,
78         "to": <Endzeit (optional)>,
79         "defaultTimes": <Standard Werte (optional)>
80       }
81     }
82   ],

```

```

83     "lessonDuration": <Lektionsdauer>
84   }
85 }

```

Listing A.17: Beispiel einer Eingabe für das Stundenplanproblem

GET /algorithm/timetableComputations/{ID} - Abrufen der Eingabedaten einer Stundenplan-Berechnung

Ruft die Eingabedaten einer bestimmten Berechnung des Stundenplanproblems ab. Die Daten werden in der Schnittstelle zuerst für den Algorithmus umgewandelt.

Status Codes:

200 - OK: Die Eingabedaten wurden gefunden und zurückgeben.

404 - Not Found: Die Eingabedaten wurden nicht gefunden.

```

1  {
2    "id": "<Berechnung ID>",
3    "associations": [
4      {
5        "id": "<ID Klasse>",
6        "name": "<Klassenname>",
7        "schoolSubjects": [
8          {
9            "id": "<ID Schulfach>"
10         }
11       ],
12       "size": <Groesse der Klasse>
13     }
14   ],
15   "responsibles": [
16     {
17       "id": "<ID Lehrer>",
18       "name": "<Name des Lehrers>",
19       "skills": [
20         {
21           "id": "<ID Schulfach>"
22         }
23       ],
24       "associations": [
25         {
26           "id": "<ID Klasse>"
27         }
28       ],
29       "freeDays": [
30         {
31           "<Wochentag>": {
32             "from": <Startzeit>,
33             "to": <Endzeit>,
34             "morning": <Am Morgen>,
35             "afternoon": <Am Nachmittag>,
36             "wholeDay": <Ganzer Tag>
37           }
38         }
39       ]
40     }
41   ],

```

```

42  "places": [
43    {
44      "id": "<ID Klassenzimmer>",
45      "name": "<Klassenzimmername>",
46      "allowedSkills": [
47        {
48          "id": "<ID Schulfach>"
49        }
50      ],
51      "blockedDays": [
52        {
53          "<Wochentag>": {
54            "from": <Startzeit>,
55            "to": <Endzeit>,
56            "morning": <Am Morgen>,
57            "afternoon": <Am Nachmittag>,
58            "wholeDay": <Ganzer Tag>
59          }
60        }
61      ],
62      "capacity": <Fassungsvermoeegen>
63    }
64  ],
65  "skills": [
66    {
67      "id": "<ID Schulfach>",
68      "name": "<Schulfachname>",
69      "explicitLocation": <Explizites Schulzimmer>
70    }
71  ],
72  "timeSlices": [
73    {
74      "number": <Zeitschlitz Nummer>
75    }
76  ]
77 }

```

Listing A.18: Beispiel für Eingabedaten des Stundenplanproblems für den Algorithmus

POST /algorithm/timetableComputations/{ID}/solutions - Speichern einer Lösung für eine Stundenplan-Berechnung

Speichert eine mögliche Lösung für eine Berechnung des Stundenplanproblems. Die Lösung wird zuerst für den Nutzer umgewandelt und danach noch validiert.

Status Codes:

200 - OK: Lösung wurde gespeichert.

400 - Bad Request: Die Validierung der Lösung zeigt Fehler auf, zusätzlich werden die Validierungsfehler mitgegeben.

```

1  {
2    "solutionType": "<Resultat Typ (PARTIAL | FINAL)>",
3    "timeSlices": [
4      {
5        "timeSlice": {
6          "number": <Zeitschlitz Nummer>
7        },

```

```

8      "responsible": {
9          "id": "<ID Lehrer>"
10     },
11     "association": {
12         "id": "<ID Schulklasse>"
13     },
14     "skill": {
15         "id": "<ID Schulfach>"
16     },
17     "place": {
18         "id": "<ID Klassenzimmer>"
19     }
20 }
21 ]
22 }

```

Listing A.19: Beispiel eines Resultates für das Stundenplanproblem aus Algorithmus-Sicht

GET /timetableScheduleComputations/{ID} - Abrufen des Status einer Stundenplan-Berechnung
 Ruft den Status und die Endresultate einer bestimmten Berechnung des Stundenplanproblems ab, die Daten werden direkt aus der Datenbank genommen, da sie dort in Nutzer-Sicht abgespeichert sind.

Status Codes:

200 - OK: Das Endresultat wurde gefunden und zurückgeben.

404 - Not Found: Keine Berechnung gefunden.

```

1  {
2      "computationId": "<Berechnung ID>",
3      "plan": [
4          {
5              "<Wochentag>": [
6                  {
7                      "timeSlice": {
8                          "from": <Startzeit>,
9                          "to": <Endzeit>
10                     },
11                     "teacher": {
12                         "id": "<ID Lehrer>",
13                         "name": "<Name des Lehrers>",
14                     },
15                     "schoolClass": {
16                         "id": "<ID Klasse>",
17                         "name": "<Klassenname>",
18                     },
19                     "schoolSubject": {
20                         "id": "<ID Schulfach>",
21                         "name": "<Schulfachname>",
22                     },
23                     "classRoom": {
24                         "id": "<ID Klassenzimmer>",
25                         "name": "<Klassenzimmername>",
26                     }
27                 }
28             ]
29         }

```

```

30 ],
31 "teacherStatistics": [
32   {
33     "name": "<Lehrername>",
34     "statisticMap": [
35       {
36         "<Schulfach>": <Anzahl Stunden>
37       }
38     ]
39   }
40 ]
41 }

```

Listing A.20: Beispiel eines Endresultates für das Stundenplanproblem

A.2.6 Spielplan Erstellung

POST /matchScheduleComputations - Erstellung einer neuen Spielplan-Berechnung
Erstellt eine neue Berechnung des Spielplanproblems und speichert sie in die Datenbank.

Status Codes:

200 - OK: Berechnung wurde erstellt, zusätzlich erhält der Nutzer noch die ID der Berechnung.

400 - Bad Request: Die Validierung der Eingabedaten ist fehlgeschlagen.

```

1  {
2    "name": "<Berechnungsname>",
3    "teams": [
4      {
5        "id": "<ID Team>",
6        "name": "<Teamname>",
7        "category": {
8          "id": "<ID Kategorie>"
9        }
10     }
11  ],
12  "referees": [
13    {
14      "id": "<ID Schiedsrichter>",
15      "name": "<Name des Schiedsrichters>",
16      "skills": [
17        {
18          "id": "<ID Kategorie>"
19        }
20      ],
21      "associations": [
22        {
23          "id": "<ID Team (optional)>"
24        }
25      ]
26    }
27  ],
28  "fields": [
29    {
30      "id": "<ID Spielfeld>",
31      "name": "<Spielfeldname>",
32      "allowedSkills": [

```

```

33     {
34         "id": "<ID Kategorie (optional)>"
35     }
36 ]
37 }
38 ],
39 "categories": [
40     {
41         "id": "<ID Kategorie>",
42         "name": "<Kategorienname>"
43     }
44 ],
45 "configuration": {
46     "breakTimeSliceSize": [<Pausenzeiten>],
47     "timeSliceSize": <Spieldauer>
48     "startPoint": <Startpunkt>
49 }
50 }

```

Listing A.21: Beispiel einer Eingabe für das Spielplanproblem

GET /algorithm/matchScheduleComputations/{ID} - Abrufen der Eingabedaten einer Spielplan-Berechnung

Ruft die Eingabedaten einer bestimmten Berechnung des Spielplanproblems ab. Die Daten werden in der Schnittstelle zuerst für den Algorithmus umgewandelt.

Status Codes:

200 - OK: Die Eingabedaten wurden gefunden und zurückgeben.

404 - Not Found: Die Eingabedaten wurden nicht gefunden.

```

1  {
2      "id": "<Berechnung ID>",
3      "associations": [
4          {
5              "id": "<ID Team>",
6              "name": "<Teamname>",
7              "category": {
8                  "id": "<ID Kategorie>"
9              }
10         }
11     ],
12     "responsibles": [
13         {
14             "id": "<ID Schiedsrichter>",
15             "name": "<Name des Schiedsrichters>",
16             "skills": [
17                 {
18                     "id": "<ID Kategorie>"
19                 }
20             ],
21             "associations": [
22                 {
23                     "id": "<ID Team (optional)>"
24                 }
25             ]
26         }

```



```

27 ],
28 "places": [
29   {
30     "id": "<ID Spielfeld>",
31     "name": "<Spielfeldname>",
32     "allowedSkills": [
33       {
34         "id": "<ID Kategorie (optional)>"
35       }
36     ]
37   }
38 ],
39 "skills": [
40   {
41     "id": "<ID Kategorie>",
42     "name": "<Kategorienamen>"
43   }
44 ]
45 }

```

Listing A.22: Beispiel für Eingabedaten des Spielplanproblems für den Algorithmus

POST /algorithm/matchScheduleComputations/{ID}/solutions - Speichern einer Lösung für eine Spielplan-Berechnung

Speichert eine mögliche Lösung für eine Berechnung des Spielplanproblems. Die Lösung wird zuerst für den Nutzer umgewandelt und danach noch validiert.

Status Codes:

200 - OK: Lösung wurde gespeichert.

400 - Bad Request: Die Validierung der Lösung zeigt Fehler auf, zusätzlich werden die Validierungsfehler mitgegeben.

```

1  {
2    "solutionType": "<Resultat Typ (PARTIAL | FINAL)>",
3    "timeSlices": [
4      {
5        "timeSlice": {
6          "number": <Zeitschlitz Nummer>
7        },
8        "responsible": {
9          "id": "<ID Schiedsrichter>"
10       },
11       "association": {
12         "team1": {
13           "id": "<ID Team>"
14         },
15         "team2": {
16           "id": "<ID Team>"
17         }
18       },
19       "place": {
20         "id": "<ID Spielfeld>"
21       }
22     ]
23   ]
24 }

```

Listing A.23: Beispiel eines Resultates für das Spielplanproblem aus Algorithmus-Sicht

GET /matchScheduleComputations/{ID} - Abrufen des Status einer Spielplan-Berechnung
 Ruft den Status und die Endresultate einer bestimmten Berechnung des Spielplanproblems ab, die Daten werden direkt aus der Datenbank genommen, da sie dort in Nutzer-Sicht abgespeichert sind.

Status Codes:

200 - OK: Das Endresultat wurde gefunden und zurückgeben.

404 - Not Found: Keine Berechnung gefunden.

```

1 {
2   "computationId": "<Berechnung ID>",
3   "timeSlices": [
4     {
5       "timeSlice": {
6         "from": <Startzeit>,
7         "to": <Endzeit>
8       },
9       "referee": {
10        "id": "<ID Schiedsrichter>",
11        "name": "<Name des Schiedsrichters>",
12      },
13      "teams": {
14        "team1": {
15          "id": "<ID Team>",
16          "name": "<Teamname>",
17        },
18        "team2": {
19          "id": "<ID Team>",
20          "name": "<Teamname>",
21        }
22      },
23      "categorie": {
24        "id": "<ID Kategorie>",
25        "name": "<Kategorienamen>",
26      },
27      "field": {
28        "id": "<ID Klassenzimmer>",
29        "name": "<Klassenzimmername>",
30      }
31    }
32  ],
33  "refereeStatistics": [
34    {
35      "name": "<Schiedsrichternamen>",
36      "statisticMap": [
37        {
38          "<Kategorienamen>": <Anzahl Spiele>
39        }
40      ]
41    }
42  ],
43  "teamStatistics": [
44    {
45      "name": "<Kategorienamen>",

```

```
46     "statisticMap": [  
47         {  
48             "<Teamname>": <Anzahl Spiele>  
49         }  
50     ]  
51 }  
52 ]  
53 }
```

Listing A.24: Beispiel eines Endresultates für das Spielplanproblem

Acronyms

ACID Atomicity, Consistency, Isolation, Durability

API Application Programming Interface

BASE Basically Available, Soft state, Eventual consistency

BLOB Binary Large Object

DDD Domain-Driven Design

IDE Integrated Development Environment

JSON JavaScript Object Notation

NP Nichtdeterministische Polynomialzeit

ODL Object Definition Language

OODBMS objektorientiertes Datenbankmanagementsystem

OQL Object Query Language

ORDBMS *objektrelationales Datenbankmanagementsystem*

P deterministische Polynomialzeit

RDBMS relationales Datenbankmanagementsystem

REST Representational State Transfer

SQL Structured Query Language

XML Extensible Markup Language

Glossary

Aggregationsfunktion Liefern ein einzelnes Resultat einer Spalte, zum Beispiel AVG - Mittelwert oder SUM - Summe.

Application Programming Interface Eine Schnittstelle, über welche anderen Applikationen Leistungen beziehen können.

Atomicity, Consistency, Isolation, Durability Häufig erwünschte Eigenschaften von Datenbanken, welche bei relationalen Datenbanken durch Transaktionen realisiert werden.

Aussagenlogik Ein Teilgebiet der Logik, in welchem es um Aussagen und deren Verknüpfung geht. Für eine Aussage der Aussagenlogik kann genau bestimmt werden, ob sie wahr oder falsch ist.

Basically Available, Soft state, Eventual consistency Eine etwas entschärfte Variante von ACID, bei welcher es mehr um die Verfügbarkeit und die Schnelligkeit geht, was mit einer weichen Konsistenz erreicht wird.

Basisfaktor Basisfaktoren (unterbewusste Anforderungen) muss das System in jedem Fall vollständig erfüllen, sonst stellt sich beim Stakeholder massive Unzufriedenheit ein. ^[PR11]

Binary Large Object Datentyp von Datenbanken für grosse, nicht weiter strukturierte, binäre Objekte (z.B. Bilder oder PDF-Dateien).

CAP-Theorem Besagt, dass ein verteiltes System unmöglich alle drei Werte, Konsistenz (C), Verfügbarkeit (A) und Partitionstoleranz (P), garantieren kann.

deterministisch Einen Algorithmus wird deterministisch genannt, wenn zu jedem Zeitpunkt der Folgeschritt eindeutig bestimmt ist. ^[Wal15]

deterministische Polynomialzeit Es existiert eine deterministisch Turingmaschine, die das Problem in Polynomialzeit löst.

Domain-Driven Design Modellierungsmethode für komplexe objektorientierte Software.

Domänensprache Sprache für Begriffe in einer spezifische Umgebung bzw. einer gewissen Nutzergruppe.

Eulerkreis Ein ungerichteter Graph, bei welchen kein Knoten eine ungerade Anzahl anliegender Kanten hat.

Extensible Markup Language Markup Sprache zum Austausch strukturierter Daten.

Generics Der Begriff steht für das parameterisieren von Typen. Generics ermöglichen seit Java 1.5 die generische Programmierung in Java.

HTTP-Statuscode Bei einem HTTP-Request teilt der HTTP-Statuscode Informationen über den Erfolg der Anfrage mit. Die erste Zahl ist die Statusklasse, die bekanntesten Codes sind 200 OK oder 404 Not Found. Die Codes sind in ^[FR14] definiert.

Integrated Development Environment Eine integrierte Entwicklerumgebung (englisch Integrated Development Environment) beinhalten einen Texteditor, Compiler (falls benötigt), Debugger, Formatierungsfunktionen und zum Teil die Möglichkeit zur Erstellung von grafischen Benutzeroberflächen.

JavaScript Object Notation Format zum Austausch von strukturierten Daten, bekannt für seine gute Lesbarkeit und wenig Overhead.

nichtdeterministisch Einen Algorithmus wird nichtdeterministisch genannt, wenn zu einem Zeitpunkt der Folgeschritt durch einen Zufallsmechanismus beeinflusst wird. ^[Wal15]

Nichtdeterministische Polynomialzeit Es existiert eine nichtdeterministische Turingmaschine, die das Problem in Polynomialzeit löst.

Object Definition Language Definitionssprache, welche Ähnlichkeiten mit der Definition von Objekten in objektorientierten Programmiersprachen hat.

Object Query Language Object Query Language ist stark an SQL angelehnt, wobei nicht mit den Spalten der Tabelle sondern mit den Attributen des Objekts Abfragen erstellt werden.

objektorientiertes Datenbankmanagementsystem Das Konzept dieser Datenbanken zielt eine bessere und nähere Zusammenarbeit mit objektorientierten Programmiersprachen

objektrelationales Datenbankmanagementsystem Erweitert das Konzept der RDBMS mit Funktionen des objektorientierten Stiles.

Poll-Prinzip Beim Poll-Prinzip fragt der Nutzer nach, ob eine Aktion beendet ist. Bei lange Berechnungen kann dies zu sehr vielen unnötigen Requests führen, bei diesem Anwendungsfall wäre das *Push-Prinzip* sinnvoller.

Polynomialzeit In Polynomialzeit lösbar heisst, dass die Laufzeitkomplexität in einem Polynom mit der Form n^k , wobei n die Eingabelänge und k eine Konstante ist, dargestellt werden kann.

Polynomialzeit-Verifizierer Überprüft eine Lösung zu einem Problem in Polynomialzeit.

Polynomialzeitreduktion Eine Reduktion eines Problems auf ein anders in Polynomialzeit.

Push-Prinzip Beim Push-Prinzip wird der Nutzer vom System aktiv benachrichtigt, wenn eine Aktion beendet ist.

relationales Datenbankmanagementsystem Das Grundkonzept dieser Datenbank ist die Relation.

Representational State Transfer Programmierparadigma für die Implementation von Webservices. Es bietet eine Kommunikationsschnittstelle für Webanwendung und wird vor allem für System-System-Kommunikation verwendet. REST ist Zustandslos und liefert somit bei einem Aufruf einer URL genau jedes Mal den selben Inhalt zurück.

semistrukturierte Daten Daten, welche keiner allgemeine Struktur unterliegen. XML ist eine sehr verbreitete Notation dafür.

Sonar Sonar ist ein statisches Code-Analyse Tool.

Stakeholder Stakeholder sind für den Requirement Engineer wichtige Quellen zur Identifikation möglicher Anforderungen des Systems. ^[PR11] Ein Stakeholder ist eine Person, die in irgendeiner Weise vom Projekt betroffen ist, jedoch nicht notwendigerweise direkt Einfluss auf den Projektverlauf haben muss.

Structured Query Language Abfrage- und Definitionssprache von Datenbanken.

Turingmaschine Eine abstrakte Rechenmaschine mit der Leistungsfähigkeit sowohl realer Computer als auch anderer mathematischer Definitionen dessen, was berechnet werden kann. ^[HMÜ11]

vertikaler Durchstich Beim vertikaler Durchstich, auch vertikaler Prototyp genannt, ist ein Teil der Applikation durch alle Ebenen hindurch implementiert.

VIM Ein Texteditor, der umgehend für die Bedienung mit der Tastatur optimiert ist. Verschiedene Betriebsmodi und Tastenkombinationen erlauben nach dem Erlernen eine enorme Steigerung der Produktivität.

WebHook Ein nicht standardisiertes Verfahren, um ständiges Polling zu umgehen. Dabei wird nach einem gewissen Event ein POST-Request an die angegebene URL geschickt.

YAML Markup Language mit wenig Overhead und in einer menschenlesbarer Form. Der Name ist ein rekursives Akronym für „YAML Ain’t Markup Language“ (früher „Yet Another Markup Language“).

Literaturverzeichnis

- [AA92] ABRAMSON, D. ; ABELA, J.: A Parallel Genetic Algorithm for Solving the School Timetabling Problem. In: *Division of Information Technology, C.S.I.R.O.*, 1992
- [Abd06] ABDULLAH, S.: *Heuristic Approaches for University Timetabling Problems*, The University of Nottingham, Diss., 2006
- [Abr91] ABRAMSON, D.: *Constructing School Timetables using Simulated Annealing: Sequential and Parallel Algorithms*. 1991
- [adv15] *Advanced REST client - Chrome Web Store*. <https://chrome.google.com/webstore/detail/advanced-rest-client/hgmloofddffdnphfgcellkdfbfbjello>. Version: Juni 2015
- [Bra15] BRAISCH, M.: *Stundenplangenerierung mit CLP*. <http://www.fh-wedel.de/~si/seminare/ss01/Ausarbeitung/3.stundenplan/splan2.htm#konplex>. Version: Mai 2015
- [Bre00] BREWER, A.: Towards Robust Distributed Systems, 2000. – <http://www.cs.berkeley.edu/~brewer/cs262b-2004/P0DC-keynote.pdf> (Mai 2015)
- [cit15] *Top 10,000 cited articles in Computer Science [CiteSeer.Continuity; Steve Lawrence, Kurt Bollacker, Lee Giles]*. <http://ww2.ii.uj.edu.pl/~tabor/prII09-10/perl/allarticles.html>. Version: Mai 2015
- [Coo71] COOK, S. A.: The Complexity of Theorem-Proving Procedures / University of Toronto. Version: 1971. <http://www.cs.toronto.edu/~sacook/homepage/1971.pdf>. 1971. – Forschungsbericht
- [DPV06] DASGUPTA, S. ; PAPADIMITRIOU, C. H. ; VAZIRANI, U. V.: *Algorithms*. 2006 <http://beust.com/algorithms.pdf>
- [dro15] *Dropbox*. <https://www.dropbox.com/>. Version: Juni 2015
- [Dye15] DYER, D. W.: *When are Evolutionary Algorithms Useful?* <http://watchmaker.uncommons.org/manual/ch01s02.html>. Version: Juni 2015
- [Esf15] ESFAHBOD, B.: *P np np-complete np-hard*. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:P_np_np-complete_np-hard.svg#mediaviewer/File:P_np_np-complete_np-hard.svg. Version: März 2015. – Lizenziert unter CC BY-SA 3.0 über Wikimedia Commons
- [Eva04] EVANS, E.: *Domain-driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software*. Addison-Wesley, 2004. – ISBN 9780321125217
- [FR14] FIELDING, R. ; RESCHKE, J.: Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1): Semantics and Content / RFC Editor. Version: June 2014. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7231.txt>. RFC Editor, June 2014 (7231). – RFC. – ISSN 2070-1721
- [git15] *Git*. <http://git-scm.com/>. Version: Mai 2015
- [GJ79] GAREY, M.R. ; JOHNSON, D.S.: *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. Freeman, W. H., 1979 (A Series of books in the mathematical sciences)

- [GKRS13] GHARBI, M. ; KOSCHEL, A. ; RAUSCH, A. ; STARKE, G. ; PREISENDANZ, C. (Hrsg.): *Basiswissen für Softwarearchitekten*. dpunkt.verlag GmbH, 2013
- [Guz09] GUZENDA, L.: *Building Petabyte Databases with Objectivity*. 2009 <http://cds.cern.ch/record/383255/files/p65.pdf?version=1>
- [GWB03] GRÖBNER, M. ; WILKE, P. ; BÜTTCHER, S.: A Standard Framework for Timetabling Problems. In: BURKE, E. (Hrsg.) ; DE CAUSMAECKER, P. (Hrsg.): *Practice and Theory of Automated Timetabling IV*. Springer Berlin Heidelberg, 2003 (Lecture Notes in Computer Science). – ISBN 978-3-540-40699-0
- [Had13] HADJIGEORGIOU, C.: RDBMS vs NoSQL: Performance and Scaling Comparison / The University of Edinburgh. Version: August 2013. <http://static.ph.ed.ac.uk/dissertations/hpc-msc/2012-2013/RDBMS%20vs%20NoSQL%20-%20Performance%20and%20Scaling%20Comparison.pdf>. 2013. – Forschungsbericht
- [HBSA11] HUSSIN, B. ; BASARI, A. S. H. ; SHIBGHATULLAH, A. S. ; ASMAI, S. A.: IEEE Conference on Open Systems. In: *Exam Timetabling Using Graph Colouring Approach*, 2011
- [HHMS09] HINDEL, B. ; HÖRMANN, K. ; MÜLLER, M. ; SCHMIED, J. ; PREISENDANZ, C. (Hrsg.): *Basiswissen - Software-Projektmanagement*. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. dpunkt.verlag GmbH, 2009
- [hib15] *Hibernate OGM - Hibernate OGM*. <http://hibernate.org/ogm/>. Version: April 2015
- [HMu11] HOPCROFT, J. E. ; MOTWANI, R. ; ULLMAN, J. D.: *Einführung in Automatentheorie, Formale Sprachen und Berechenbarkeit*. Pearson Deutschland, 2011 (Pearson Studium - IT). – ISBN 9783868940824
- [int15] *IntelliJ IDEA — The Most Intelligent Java IDE*. <https://www.jetbrains.com/idea/>. Version: Juni 2015
- [Jaf14] JAFFER, M. A.: Time Table and Scheduled Meetings Problem - Constraint Optimization through Evolutionary Algorithm / Institute of Business Administration Karachi, Pakistan. Version: 2014. http://www.academia.edu/6106691/Time_Table_and_Scheduled_Meetings_Problem_Constraint_Optimization_through_Evolutionary_Algorithm. 2014. – Forschungsbericht
- [jun15] *JUnit - About*. <http://junit.org/>. Version: Juni 2015
- [KN12] KRUMKE, S.O. ; NOLTEMEIER, H.: *Graphentheoretische Konzepte und Algorithmen*. Vieweg+Teubner Verlag, 2012 (Leitfäden der Informatik). – ISBN 9783834822642
- [KPP04] KELLERER, H. ; PFERSCHY, U. ; PISINGER, D.: *Knapsack Problems*. Springer, 2004. – ISBN 9783540402862
- [KS] KOYUNCU, B. ; SEÇIR, M.: Student Time Table by using Graph Coloring Algorithm / Ankara University Computer Engineering Department. – Forschungsbericht
- [lat15] *CTAN: tex-archive/support/latexdiff*. <https://www.ctan.org/tex-archive/support/latexdiff>. Version: Juni 2015
- [Lim10] LIMITED, I.E.S.: *Introduction to Database Systems*. Pearson Education, 2010. – ISBN 9788131731925
- [LS] LICKEL, R. ; SANTSCHL, R.: *R&R Route Planer - Traveling Salesman Problem*. – Semesterarbeit 2013 im Bereich Algorithmen
- [Mas11] MASSE, M.: *REST API Design Rulebook*. O'Reilly Media, 2011 (Oreilly and Associate Series). – ISBN 9781449310509

- [McM14] McMILLAN, M.: *Data Structures and Algorithms with JavaScript*. O'Reilly Media, 2014. – ISBN 9781449373962
- [moc15] <http://mockito.org/>. <http://mockito.org/>. Version: Juni 2015
- [mon15] *MongoDB*. <https://www.mongodb.org/>. Version: Juni 2015
- [mys15] *MySQL :: Die populärste Open-Source-Datenbank der Welt*. <https://www.mysql.de/>. Version: Juni 2015
- [Nag15] NAGL, M.: *Algorithmus der Woche - Informatikjahr 2006*. <http://www-i1.informatik.rwth-aachen.de/~algorithmus/alg015.php>. Version: März 2015
- [obj15] *Objectivity DB | Objectivity*. <http://www.objectivity.com/products/objectivitydb/>. Version: Juni 2015
- [ood15] *Why Aren't You Using An Object Oriented Database Management System?* <http://www.25hoursaday.com/whyarentyouusinganoodbms.html>. Version: Juni 2015
- [PB04] PEARSON, D. ; BRYANT, V.: *Decision Maths 1*. Pearson Education, 2004 (Advanced Maths for Aqa). <http://www.suffolkmaths.co.uk/pages/Maths%20Projects/Projects/Topology%20and%20Graph%20Theory/Chinese%20Postman%20Problem.pdf>. – ISBN 9780435513351
- [PD08] POMBERGER, G. ; DOBLER, H.: *Algorithmen und Datenstrukturen: eine systematische Einführung in die Programmierung*. Pearson Studium, 2008 (Pearson Studium - IT). – ISBN 9783827372680
- [pic11] *Greedy search path example*. <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Greedy-search-path-example.gif>. Version: April 2011
- [Pie11] PIERHÖFER, H.: *Bäume und Backtracking*, 2011. – Leitprogramm vom 20. Juni 2011 an der ETH Zürich: <http://www.educ.ethz.ch/unt/um/inf/ad/baume3/Backtracking.pdf>
- [PR11] POHL, K. ; RUPP, C. ; PREISENDANZ, C. (Hrsg.) ; SCHÖNFELDT, R. (Hrsg.) ; LÖTSCH, N. (Hrsg.): *Basiswissen - Requirements Engineering*. 3., korrigierte Auflage. dpunkt.verlag GmbH, 2011
- [pro15] *P-versus-NP page*. <http://www.win.tue.nl/~gwoegi/P-versus-NP.htm>. Version: Juni 2015
- [Ric12] RICHTER, E.: *Die Klassen P und NP*. http://apache.cs.uni-potsdam.de/de/profs/ifi/theorie/lehre/ss12/ti2-ss12/folien/Folien11-PundNP.pdf/at_download/file. Version: Juni 2012
- [San15] SANTSCHI, R.: *knobli/simplatyser*. <https://github.com/knobli/simplatyser>. Version: Mai 2015
- [Sau12] SAUTTER, L.: *Approximationsalgorithmen am Beispiel des Traveling Salesman Problem*, Karlsruher Institut für Technologie, Diss., 2012. http://parco.iti.kit.edu/henningm/Seminar-AT/seminar-arbeiten/Sautter_final.pdf
- [Sch08] SCHRADER, R.: *Graphentheorie*, 2008. – Vorlesung vom 28. Januar 2008 im Zentrum für Angewandte Informatik Köln: <http://www.zaik.de/AFS/teachings/ws0708/Graph/skript/Kapitel9.pdf>
- [Sie03a] SIEGFRIED, R.: *Algorithmische Graphentheorie*, 2003. – Vorlesung im Sommersemester 2003 an der Fachhochschule Wedel: http://www.rsiegfried.de/files/fhw/2003_Faerbungen_auf_Graphen.pdf

- [Sie03b] SIEGFRIED, R.: Färbungen auf Graphen, 2003. – Vorlesung vom 26.06.2003 an der Fachhochschule Wedel: http://www.rsiegfried.de/files/fhw/2003_Faerbungen_auf_Graphen_Slides.pdf
- [SL12] SPILLNER, A. ; LINZ, T. ; PREISENDANZ, Christa (Hrsg.): *Basiswissen Softwaretest*. 5., überarbeitete und aktualisierte Auflage. dpunkt.verlag GmbH, 2012
- [son15] *SonarSource - Continuous Inspection of Code Quality*. <http://www.sonarsource.com/>. Version: Mai 2015
- [spr15a] *Spring Boot*. <http://projects.spring.io/spring-boot/>. Version: Mai 2015
- [spr15b] *Spring Data*. <http://projects.spring.io/spring-data/>. Version: Mai 2015
- [spr15c] *Spring Data MongoDB*. <http://projects.spring.io/spring-data-mongodb/>. Version: April 2015
- [Ste13] STEPHENS, R.: *Essential Algorithms: A Practical Approach to Computer Algorithms*. Wiley, 2013 (Essentials series). – ISBN 9781118797297
- [swa15] *Swagger UI / Swagger*. <http://swagger.io/swagger-ui/>. Version: Mai 2015
- [uni15] ; Gruber & Petters GmbH (Veranst.): *Stundenplan Software für Schulen - UntisExpress*. <http://www.school-timetabling.com/>. Version: März 2015
- [Vai13] VAISH, G.: *Getting Started with NoSQL*. Packt Publishing, 2013. – ISBN 9781849694995
- [Wal15] WALTHER, T.: *Eigenschaften von Algorithmen*. <http://www.tilman.de/uni/ws03/alp/eigenschaftenVonAlgorithmen.php>. Version: Juni 2015
- [WM97] WOLPERT, D. H. ; MACREADY, W. G.: No Free Lunch Theorems for Optimization / IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION. Version: April 1997. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=585893>. 1997. – Forschungsbericht
- [zha15] *Vorlagen PA/BA*. <https://intra.zhaw.ch/departemente/school-of-engineering/bachelorstudium/projekt-und-bachelorarbeiten/vorlagen-paba.html>. Version: Mai 2015

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | Projektplan | 10 |
| 3.1 | Übersicht der Komplexitätsklassen ($P \neq NP$ und $P = NP$) | 13 |
| 3.2 | Suchen des profitabelsten Weg mit Hilfe eines Greedy Algorithmus | 14 |
| 4.1 | Hierarchie der Reduktion zum Beweis der NP-Vollständigkeit bzw. NP-Schwere . . | 16 |
| 4.2 | Knotenfärbung eines Graphen mit 10 Knoten | 17 |
| 4.3 | Problem des Handlungsreisenden mit 4 Wegpunkten | 18 |
| 4.4 | Beispiel für ein Briefträgerproblem | 19 |
| 4.5 | Berechnungszeiten für das Rucksack-Problem mit verschiedenen Eingabeparametern im Vergleich | 29 |
| 5.1 | Systemkontext | 30 |
| 5.2 | Systemumgebung | 31 |
| 5.3 | Use-Case Diagramm | 32 |
| 5.4 | Satzschablone | 36 |
| 6.1 | Systemübersicht | 45 |
| 6.2 | Architekturaufbau des Systems | 46 |
| 6.3 | Flussdiagramm des Arbeitsablaufs | 48 |
| 6.4 | Start einer Berechnung | 49 |
| 6.5 | Abspeichern des Resultats einer Berechnung | 50 |
| 6.6 | CAP-Theorem | 51 |
| 6.7 | Klassendiagramm der verschiedenen Problemklassen | 59 |
| 6.8 | Klassendiagramm der verschiedenen Resultatklassen | 60 |
| 7.1 | Vertikaler Durchstich mit dem Rucksack-Problem | 61 |
| 7.2 | Nachrichten der Statusänderungen von Berechnungen | 63 |
| 7.3 | Nutzer-Schnittstellenbeschreibung von Swagger | 64 |
| 7.4 | Eingabeparameter für eine Rucksack-Berechnung | 65 |
| 7.5 | Eingabeparameter für eine Knotenfärbung-Berechnung | 65 |
| 7.6 | Eingabeparameter für eine Routen-Berechnung | 66 |
| 7.7 | Eingabeparameter für eine Briefträger-Routen-Berechnung | 66 |
| 7.8 | Eingabeparameter für eine Stundenplan-Berechnung | 68 |
| 7.9 | Eingabeparameter für eine Spielplan-Berechnung | 69 |
| 7.10 | Darstellung der Package-Struktur in IntelliJ | 71 |
| 7.11 | Github Repository des Simplatyser Projekts | 72 |
| 7.12 | Advanced REST client | 73 |
| 8.1 | Analyse der Testabdeckung des Projekts | 75 |
| 9.1 | Konzept des übergeordneten Projekts | 78 |
| A.1 | Risikomatrix | II |

Listings

| | | |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 6.1 | Tabellendefinition in relationalem Datenbanksystem | 51 |
| 6.2 | Abfrage in relationalem Datenbanksystem | 52 |
| 6.3 | Typendefinition im objektrelationalen Datenbanksystem | 52 |
| 6.4 | Verwendung von Typendefinition im objektrelationalen Datenbanksystem | 52 |
| 6.5 | Abfrage in objektrelationalem Datenbanksystem | 52 |
| 6.6 | Verwendung von Array in objektrelationalem Datenbanksystem | 52 |
| 6.7 | Objektdefinition in objektorientiertem Datenbanksystem | 53 |
| 6.8 | Abfrage in objektorientiertem Datenbanksystem | 53 |
| 6.9 | Personen Element in JSON Format | 54 |
| 6.10 | Abfrage in MongoDB | 54 |
| 6.11 | Resultat der Abfrage in MongoDB | 54 |
| 6.12 | Serialisierung zeilenorientierte Datenbank | 54 |
| 6.13 | Serialisierung spaltenorientierte Datenbank | 54 |
| 6.14 | Abfrage in Neo4j | 55 |
| | | |
| 7.1 | Aufbau einer Antwort auf eine Statusabfrage | 62 |
| 7.2 | Beispiel einer WebHook Konfiguration für Slack | 62 |
| 7.3 | Ausschnitt einer Eingabe für das Stundenplanproblem für die Rahmenbedingungen | 67 |
| 7.4 | Ausschnitt eines Resultats einer Spielplan Erstellung | 69 |
| | | |
| A.1 | Beispiel einer Eingabe für das Rucksack-Problem | IV |
| A.2 | Beispiel für Eingabedaten des Rucksack-Problems für den Algorithmus | IV |
| A.3 | Beispiel eines Resultates für das Rucksack-Problem aus Algorithmus-Sicht | V |
| A.4 | Beispiel eines Endresultates für das Rucksack-Problem | V |
| A.5 | Beispiel einer Eingabe für das Knotenfärbungsproblem | V |
| A.6 | Beispiel für Eingabedaten des Knotenfärbungsproblems für den Algorithmus | VI |
| A.7 | Beispiel eines Resultates für das Knotenfärbungsproblems aus Algorithmus-Sicht | VI |
| A.8 | Beispiel eines Endresultates für das Knotenfärbungsproblems | VII |
| A.9 | Beispiel einer Eingabe für das Problem des Handlungsreisenden | VII |
| A.10 | Beispiel für Eingabedaten des Problem des Handlungsreisenden für den Algorithmus | VIII |
| A.11 | Beispiel eines Resultates für das Problem des Handlungsreisenden aus Algorithmus-Sicht | VIII |
| A.12 | Beispiel eines Endresultates für das Problem des Handlungsreisenden | IX |
| A.13 | Beispiel einer Eingabe für das Briefträgerproblem | IX |
| A.14 | Beispiel für Eingabedaten des Briefträgerproblems für den Algorithmus | X |
| A.15 | Beispiel eines Resultates für das Briefträgerproblem aus Algorithmus-Sicht | X |
| A.16 | Beispiel eines Endresultates für das Briefträgerproblem | XI |
| A.17 | Beispiel einer Eingabe für das Stundenplanproblem | XI |
| A.18 | Beispiel für Eingabedaten des Stundenplanproblems für den Algorithmus | XIII |
| A.19 | Beispiel eines Resultates für das Stundenplanproblem aus Algorithmus-Sicht | XIV |
| A.20 | Beispiel eines Endresultates für das Stundenplanproblem | XV |
| A.21 | Beispiel einer Eingabe für das Spielplanproblem | XVI |
| A.22 | Beispiel für Eingabedaten des Spielplanproblems für den Algorithmus | XVII |
| A.23 | Beispiel eines Resultates für das Spielplanproblem aus Algorithmus-Sicht | XVIII |
| A.24 | Beispiel eines Endresultates für das Spielplanproblem | XIX |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | Meilensteine | 8 |
| 2.2 | Zeitschätzung auf Arbeitspaketebene | 11 |
| 4.1 | Schulfächer | 20 |
| 4.2 | Lehrer | 20 |
| 4.3 | Klassen | 21 |
| 4.4 | Klassenzimmer | 21 |
| 4.5 | Möglicher Stundenplan - Variante 1 | 21 |
| 4.6 | Möglicher Stundenplan - Variante 2 | 22 |
| 4.7 | Knapsack Objekte mit Gewicht und Profit | 23 |
| 4.8 | Wahrheitstabelle zur aussagenlogischen Formel | 25 |
| 4.9 | Wahrheitstabelle zur 3-SAT Formel | 26 |
| 4.10 | Eingabe- und Ausgabedaten der ausgewählten Probleme | 27 |
| 4.11 | Berechnungszeiten bei verschiedenen Eingabeparametern für das Rucksack-Problem | 28 |
| 5.1 | Liste der Stakeholder | 31 |
| 5.2 | Vorlage für Use Case Spezifikation | 32 |
| 5.3 | Use Case UC-1: Lösung beauftragen | 33 |
| 5.4 | Use Case UC-2: Berechnung starten | 33 |
| 5.5 | Use Case UC-3: Eingabe Parameter abholen | 34 |
| 5.6 | Use Case UC-4: Status abfragen | 34 |
| 5.7 | Use Case UC-5: Resultat speichern | 35 |
| 5.8 | Use Case UC-6: Resultat abholen | 35 |
| 5.9 | Vorlage für Anforderungen | 36 |
| 5.10 | Anforderung RF-F1 | 37 |
| 5.11 | Anforderung RF-F2 | 37 |
| 5.12 | Anforderung RF-F3 | 38 |
| 5.13 | Anforderung RF-F4 | 38 |
| 5.14 | Anforderung RF-F5 | 39 |
| 5.15 | Anforderung RF-F6 | 39 |
| 5.16 | Anforderung RF-F7 | 40 |
| 5.17 | Anforderung RF-F8 | 40 |
| 5.18 | Anforderung RF-F9 | 41 |
| 5.19 | Qualitätsanforderung RF-NF1 | 42 |
| 5.20 | Qualitätsanforderung RF-NF2 | 42 |
| 5.21 | Qualitätsanforderung RF-NF3 | 43 |
| 5.22 | Qualitätsanforderung RF-NF4 | 43 |
| 5.23 | Priorität der Anforderungen | 44 |
| 6.1 | Nutzwertanalyse - Datenbank Varianten | 57 |
| 7.1 | Visuelle Darstellung der Zeitfenster-Berechnung | 67 |
| 7.2 | Übersicht der angebotenen Schnittstellen | 70 |
| 8.1 | Testprotokoll | 75 |
| A.1 | Risikoermittlung | I |
| A.2 | Risikobewertungsschema | II |
| A.3 | Risikobewertung | II |

A.4 Risikoanalyse – Massnahmen III