
Dokumentation der Praktischen Arbeit
zur Prüfung zum
Mathematisch-technischen Softwareentwickler

Thema: Automatisierte Erstellung von Netzplänen

18. Mai 2018

Christian Peters

Prüfungs-Nummer: 20613

Programmiersprache: Java

Ausbildungsort: Institut für Kernphysik
Forschungszentrum Jülich

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Was ist ein Netzplan?	1
1.2	Kritische Pfade	3
1.3	Ziel dieser Arbeit	3
2	Verfahrensbeschreibung	5
2.1	Datenstrukturen	5
2.1.1	Logische Repräsentation eines Vorgangs	5
2.1.2	Logische Repräsentation eines Netzplans	6
2.2	Einlesen der Vorgänge	7
2.2.1	Format der Eingabedatei	7
2.2.2	Algorithmus zum Einlesen	8
2.3	Konstruktion des Netzplans	8
2.3.1	Initialisierung	8
2.3.2	Vorwärtsrechnung	10
2.3.3	Rückwärtsrechnung	12
2.3.4	Berechnung der Zeitreserven	12
2.4	Auffinden der kritischen Pfade	13

2.5	Ausgabe der Ergebnisse	13
3	Benutzungsanleitung	17
3.1	Lieferumfang	17
3.2	Ausführen des Programms	18
3.3	Ausführen aller Testfälle	18
4	Entwicklerdokumentation	21
4.1	Entwicklungsumgebung	21
4.2	Aufbau der Software	21
4.2.1	Klassenstruktur	21
4.2.2	Softwarearchitektur	23
4.3	Übersetzen der Software	23
4.3.1	Übersetzen ohne den Einsatz von Ant	24
5	Testdokumentation	25
5.1	Normalfälle	26
5.2	Sonderfälle	27
5.3	Fehlerfälle	28
6	Ausblick	37
6.1	Implementierung der Präsentationsschicht	37
6.2	Optimierung der Speicherung des Graphen	37
6.3	Unterstützung weiterer Ein- und Ausgabeformate	38
A	Abweichungen und Ergänzungen zum Vorentwurf	39
A.1	Änderungen in der Klasse Netzplan	39

A.1.1	Abbildung zwischen internen und externen Vorgangsnummern . .	39
A.1.2	Erweitertes Prüfen der Nachfolger - Vorgänger - Relation	40
A.1.3	Einsatz von Exceptions in den Methoden <code>istZyklenfrei()</code> und <code>istZusammenhaengend()</code>	40
A.1.4	Queue aus Pfaden statt Liste aus Knoten in der Methode <code>istZyklenfrei()</code>	40
A.1.5	Auslagerung der Rechenphasen in einzelne Methoden	40
A.1.6	Verwendung von Queue statt Liste in den Rechenphasen und bei Berechnung der kritischen Pfade	41
A.2	Änderungen in der Klasse <code>Vorgang</code>	41
A.2.1	Überschreiben der Methode <code>toString()</code>	41

Kapitel 1

Einleitung

Die Kunst einer erfolgreichen zeitlichen Planung von Projekten ist es, die einzelnen Schritte bis zum Ziel optimal aufeinander abzustimmen. Kommt es in einer Kette von Aufgaben auch nur an einer Stelle zu Verzögerungen, kann dies das gesamte Projekt gefährden. Damit Projektmanager auch in schwierigen Situationen stets den Überblick behalten können, gibt es einige Werkzeuge, die bei der Planung großer Projekte von besonderer Bedeutung sind. Eines dieser Werkzeuge soll nun im Rahmen dieser Arbeit näher untersucht werden: Der Netzplan.

1.1 Was ist ein Netzplan?

Ein Netzplan dient der Darstellung aller Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Vorgängen eines Projektes. Ein Vorgang innerhalb eines Projektes lässt sich hierbei als einzelner Knoten in einer verzweigten Kette aus weiteren Vorgängen auffassen, die alle zusammen wiederum das gesamte Projekt repräsentieren. Die Abhängigkeiten unter den Vorgängen werden hierbei durch Pfeile ausgedrückt: Ein Vorgänger besitzt einen Pfeil hin zu seinem Nachfolger. Jeder Vorgang verfügt hierbei über bestimmte Eigenschaften, die ihn eindeutig beschreiben:

- **Vorgangsnummer:** Eine eindeutige Identifikationsnummer des Vorgangs
- **Vorgangsbezeichnung:** Eine lesbare Bezeichnung des Vorgangs
- **Dauer:** Wie lange dauert die Ausführung des Vorgangs?

- **Vorgänger:** Welche anderen Vorgänge müssen zuerst ausgeführt werden, bevor der aktuelle Vorgang ausgeführt werden kann?
- **Nachfolger:** Welche anderen Vorgänge warten auf eine Abarbeitung des aktuellen Vorgangs?
- **Frühester Anfangszeitpunkt (FAZ):** Wann kann frühestens mit der Bearbeitung des Vorgangs begonnen werden?
- **Spätester Anfangszeitpunkt (SAZ):** Wann muss spätestens mit der Bearbeitung begonnen werden, damit der Zeitplan nicht gefährdet wird?
- **Frühester Endzeitpunkt (FEZ):** Wann kann der Vorgang frühestens abgeschlossen werden?
- **Spätester Endzeitpunkt (SEZ):** Wann muss der Vorgang spätestens abgeschlossen sein, damit der Zeitplan nicht gefährdet wird?
- **Gesamtpuffer (GP):** Wie viel Spielraum liegt zwischen dem frühesten und dem spätesten Anfangszeitpunkt?
- **Freier Puffer (FP):** Wie viel Spielraum existiert, wenn kein nachfolgender Vorgang durch den aktuellen Vorgang verzögert werden soll?

Wichtig bei der Angabe der Vorgänger und Nachfolger ist, dass ein Netzplan keine zyklischen Abhängigkeiten enthalten darf (sonst könnte sich die Dauer eines Projektes bis ins Unendliche hinziehen). Zudem muss es stets mindestens einen Vorgang ohne Vorgänger (einen *Startvorgang*) und mindestens einen Vorgang ohne Nachfolger (einen *Endvorgang*) geben.

Da zu Beginn der Planungsphase im Normalfall noch nicht alle aufgelisteten Attribute bekannt sind (i.d.R. nur Vorgangsnummer, Vorgangsbezeichnung, Dauer, sowie Vorgänger und Nachfolger), ist es die Aufgabe des Projektmanagers, die restlichen Eigenschaften so zu bestimmen, dass der Zeitplan eingehalten wird. An dieser Stelle kommt die Rolle des Netzplans zum tragen: Durch die Verkettung der einzelnen Vorgänge mit ihren Vorgängern und Nachfolgern können die fehlenden Attribute (FAZ, SAZ, FEZ, SEZ, GP, FP) systematisch berechnet werden. Hieraus ergibt sich auch unmittelbar die Gesamtdauer des Projektes: Sie entspricht entweder dem FEZ der Endvorgänge oder ist undefiniert, falls dieser nicht eindeutig ist.

1.2 Kritische Pfade

In jedem Projekt gibt es immer auch Vorgänge, deren Abarbeitung an besonders enge Fristen geknüpft ist und daher keinerlei Spielraum erlaubt. Solche Vorgänge, bei denen entsprechend der obigen Notation $GP = 0$ und $FP = 0$ gilt, werden im Folgenden als *kritische Vorgänge* bezeichnet. In jedem Projekt gibt es mindestens eine Kette von Vorgängen beginnend bei einem Startvorgang hin zu einem Endvorgang, die ausschließlich aus kritischen Vorgängen besteht. Eine derartige Konstellation wird auch als *kritischer Pfad* bezeichnet, da eine reibungslose Abarbeitung dieser Vorgänge Grundvoraussetzung für die Einhaltung des Zeitplans ist. Der Projektmanager sollte also schon zu Beginn alle kritischen Pfade identifizieren und besonders auf die termingerechte Abarbeitung der zugehörigen Vorgänge achten. Auch bei dieser Aufgabe hilft ihm der Netzplan, der sich systematisch nach kritischen Pfaden durchsuchen lässt.

1.3 Ziel dieser Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es nun, die Erstellung von Netzplänen sowie die Suche nach kritischen Pfaden zu automatisieren. Das zu diesem Zweck zu entwickelnde Programm soll in der Lage sein, die einzelnen Vorgänge eines Projektes aus einer Eingabedatei einzulesen und hieraus einen korrekten Netzplan zu konstruieren. Die fehlenden Eigenschaften der Vorgänge (FAZ, SAZ, FEZ, SEZ, GP, FP) sollen dazu systematisch errechnet werden. Anschließend soll der Netzplan auf kritische Pfade durchsucht werden, die Ergebnisse der Suche, sowie die vollständige Beschreibung aller Vorgänge und ihrer Fristen inklusive der Gesamtdauer des Projektes, sollen abschließend in einer Ausgabedatei gespeichert werden.

Kapitel 2

Verfahrensbeschreibung

2.1 Datenstrukturen

Die Grundlage eines jeden Programms ist durch die Art der verwendeten Datenstrukturen gegeben. Damit im weiteren Verlauf Netzpläne effizient erzeugt werden können, ist eine solide logische Repräsentation unerlässlich. Die grundlegende Darstellung der wichtigsten Elemente dieses Programms soll nun im Folgenden näher beschrieben werden.

2.1.1 Logische Repräsentation eines Vorgangs

Ein einzelner Vorgang kann als Objekt dargestellt werden, welches die in 1.1 beschriebenen Attribute *Vorgangsnummer*, *Vorgangsbezeichnung*, *Dauer*, *Vorgänger*, *Nachfolger*, *FAZ*, *SAZ*, *FEZ*, *SEZ*, *GP*, *FP* enthält und einen Zugriff auf diese ermöglicht. Hierbei werden jedem Attribut die folgenden Definitionsbereiche zugeordnet, welche später vom Anwender eingehalten werden müssen:

- **Vorgangsnummer:** Element der ganzen Zahlen \mathbb{Z} , welches im gesamten Projekt *eindeutig* sein muss.
- **Vorgangsbezeichnung:** Nicht leere Zeichenkette, welche das Semikolon nicht enthalten darf¹.
- **Dauer:** Element der natürlichen Zahlen \mathbb{N} . Dies bedeutet, dass keine negativen Dauern und auch keine nicht existenten Dauern zugelassen sind.

¹Dies hängt mit dem Eingabeformat zusammen, was an späterer Stelle erläutert wird.

- **Vorgänger:** Liste gültiger Vorgangsnummern.
- **Nachfolger:** Liste gültiger Vorgangsnummern.
- **FAZ, SAZ, FEZ, SEZ, GP und FP:** Elemente der natürlichen Zahlen \mathbb{N} *inklusive* der 0.

Mehrere Vorgänge, welche zusammen ein Projekt bilden, können somit in einer Liste aus einzelnen Vorgangsobjekten abgelegt werden.

2.1.2 Logische Repräsentation eines Netzplans

Ein Netzplan kann formal als gerichteter azyklischer Graph beschrieben werden, wobei die Knotenmenge durch die Menge aller Vorgänge des Projektes gegeben ist und die Kantenmenge durch die Vorgänger-Nachfolger-Relation unter den Vorgängen beschrieben werden kann. Ein Hilfsmittel, welches zusätzlich zu der Liste aller Vorgänge des Projekts verwendet wird, um den Netzplan als Graph darzustellen, ist die sogenannte *Adjazenzmatrix*. Diese Matrix A besitzt für jeden Knoten des Graphen sowohl eine Zeile als auch eine Spalte und hat daher bei n Knoten die Dimension $n \times n$. Existiert eine direkte Verbindung von Knoten i nach Knoten j (dies ist anschaulich der Fall, wenn Vorgang j Nachfolger von Vorgang i ist), so ist der jeweilige Eintrag a_{ij} der Adjazenzmatrix 1, ansonsten 0. Anhand der Adjazenzmatrix lässt sich auch leicht erkennen, ob ein Knoten Start- oder Endknoten ist: Da ein Startknoten i keinen Vorgänger hat, gilt für die entsprechenden Einträge der i 'ten Spalte: $a_{ki} = 0 \forall 1 \leq k \leq n$. Für jeden Endknoten j gilt analog $a_{jk} = 0 \forall 1 \leq k \leq n$.

Es sei an dieser Stelle schon angemerkt, dass Vorgänge in ihrer Nummerierung nicht zwingend die Zahlen 1 bis n (oder später im Rechner 0 bis $n - 1$) belegen müssen. Daher wird zusätzlich eine Abbildung $g : \text{Vorgangsnummern} \rightarrow \mathbb{N}$ eingeführt, welche die Vorgangsnummern lückenlos auf die ersten n natürlichen Zahlen abbildet. Dementsprechend bezeichnet g^{-1} die zugehörige Umkehrabbildung, welche eine Zahl von 1 bis n auf die entsprechende ursprüngliche Vorgangsnummer abbildet.

2.2 Einlesen der Vorgänge

2.2.1 Format der Eingabedatei

Das Format, in dem die Daten dem Programm zugeführt werden, soll hier anhand des folgenden Beispiels erläutert werden:

```
//*****  
//+ Installation von POI Kiosken  
//*****  
//Vorgangsnummer; Vorgangsbezeichnung; Dauer; Vorgänger; Nachfolger  
1; Planung des Projekts; 1; -; 2,4  
2; Beschaffung der POI-Kioske; 25; 1; 3  
3; Einrichtung der POI-Kioske; 10; 2; 6  
4; Netzwerk installieren; 6; 1; 5  
5; Netzwerk einrichten; 1; 4; 6  
6; Aufbau der POI Kioske; 2; 3,5; 7  
7; Tests und Nachbesserung der POI Kioske; 1; 6; -
```

Abbildung 2.1: Beispiel einer Eingabedatei

Eine Datei besteht aus einer ungeordneten Menge an Kommentar- und Datenzeilen. Leerzeilen sind *nicht* zugelassen. Kommentarzeilen lassen den Anwender Anmerkungen hinzufügen, welche vom Programm nicht beachtet werden. Sie beginnen stets mit einem `//`. Eine besondere Art der Kommentarzeile ist die *Überschriftzeile*, da sie im Gegensatz zu den normalen Kommentarzeilen vom Programm besonders berücksichtigt wird. Sie beginnt immer mit einem `//+` und kann an beliebiger Stelle innerhalb der Datei auftauchen. Die Zeichenkette, welche auf das einleitende `//+` folgt, beschreibt das jeweilige Projekt und darf nicht leer sein. Pro Datei muss es *genau eine* Überschriftzeile geben. Im gegebenen Beispiel sind die Zeilen 1, 3 und 4 klassische Kommentarzeilen und werden vom Programm nicht beachtet. Zeile 2 ist die Überschriftzeile.

Datenzeilen liefern dem Programm die notwendigen Informationen zu den einzelnen Vorgängen eines Projekts. Jede Datenzeile beschreibt genau einen Vorgang und besteht aus fünf Elementen, welche jeweils durch ein Semikolon² getrennt werden: *Vorgangsnummer*, *Vorgangsbezeichnung*, *Dauer*, *Vorgänger* und *Nachfolger*. Die Eingaben zu Vorgangsnummer, Vorgangsbezeichnung und Dauer müssen hierbei mit den Definitionsbereichen der in Abschnitt 2.1.1 beschriebenen Attribute eines Vorgangs übereinstimmen. Die Elemente Vorgänger und Nachfolger werden jeweils durch gültige Vorgangsnummern angegeben, welche durch Kommata getrennt aufgezählt werden. Doppelte Vorgänger oder

²Dies ist auch der Grund, weshalb im Definitionsbereich der Vorgangsbezeichnung keine Semikola zugelassen sind.

Nachfolger sind nicht erlaubt. Hat ein Vorgang keinen Vorgänger bzw. keinen Nachfolger, so steht an dieser Stelle das Zeichen –. Es handelt sich in diesem Fall um einen Start- oder Endvorgang. Jedes Projekt muss mindestens einen Start- und einen Endvorgang enthalten.

2.2.2 Algorithmus zum Einlesen

Der Algorithmus, der zum Einlesen der Eingabedatei implementiert wurde, iteriert im Wesentlichen über alle Zeilen und prüft, um was für eine Art der Zeile es sich handelt. Je nach Art der Zeile werden die Eingaben validiert, stimmt etwas nicht, so wird ein Fehler geworfen. Während der Iteration wird sukzessive eine Liste mit gelesenen Vorgängen befüllt, die am Ende zurückgegeben wird. Diese Liste wird im folgenden Struktogramm (siehe Abbildung 2.2), welches einen Überblick über die wesentlichen Gesichtspunkte des Algorithmus gibt, als *Resultat* bezeichnet.

2.3 Konstruktion des Netzplans

Um aus der eingelesenen Liste aus Vorgangsobjekten nun den Netzplan konstruieren zu können, sind einige Schritte notwendig, die an dieser Stelle näher beschrieben werden.

2.3.1 Initialisierung

Während der Initialisierungsphase wird zunächst geprüft, ob alle Grundvoraussetzungen erfüllt sind, damit es sich um einen gültigen Netzplan handelt. Hierzu wird zunächst die Adjazenzmatrix erzeugt und währenddessen die Konsistenz der Vorgänger - Nachfolger - Relation sichergestellt.

Erzeugung der Adjazenzmatrix

Um die Adjazenzmatrix zu erzeugen, wird jede Vorgangsnummer einer Zeile in der Matrix zugeordnet. Hierzu wird die Abbildung g verwendet, die bereits bei der Beschreibung des Netzplans erläutert wurde. Man erhält g , indem man ein assoziatives Feld anlegt, wobei jeder Vorgangsnummer die zugehörige Position in der Liste aus Vorgängen zugeordnet wird. Für jeden Vorgang wird nun in der zugehörigen Zeile der Adjazenzmatrix in der Spalte von jedem seiner Nachfolger eine 1 eingetragen. Hierbei wird auch gleich

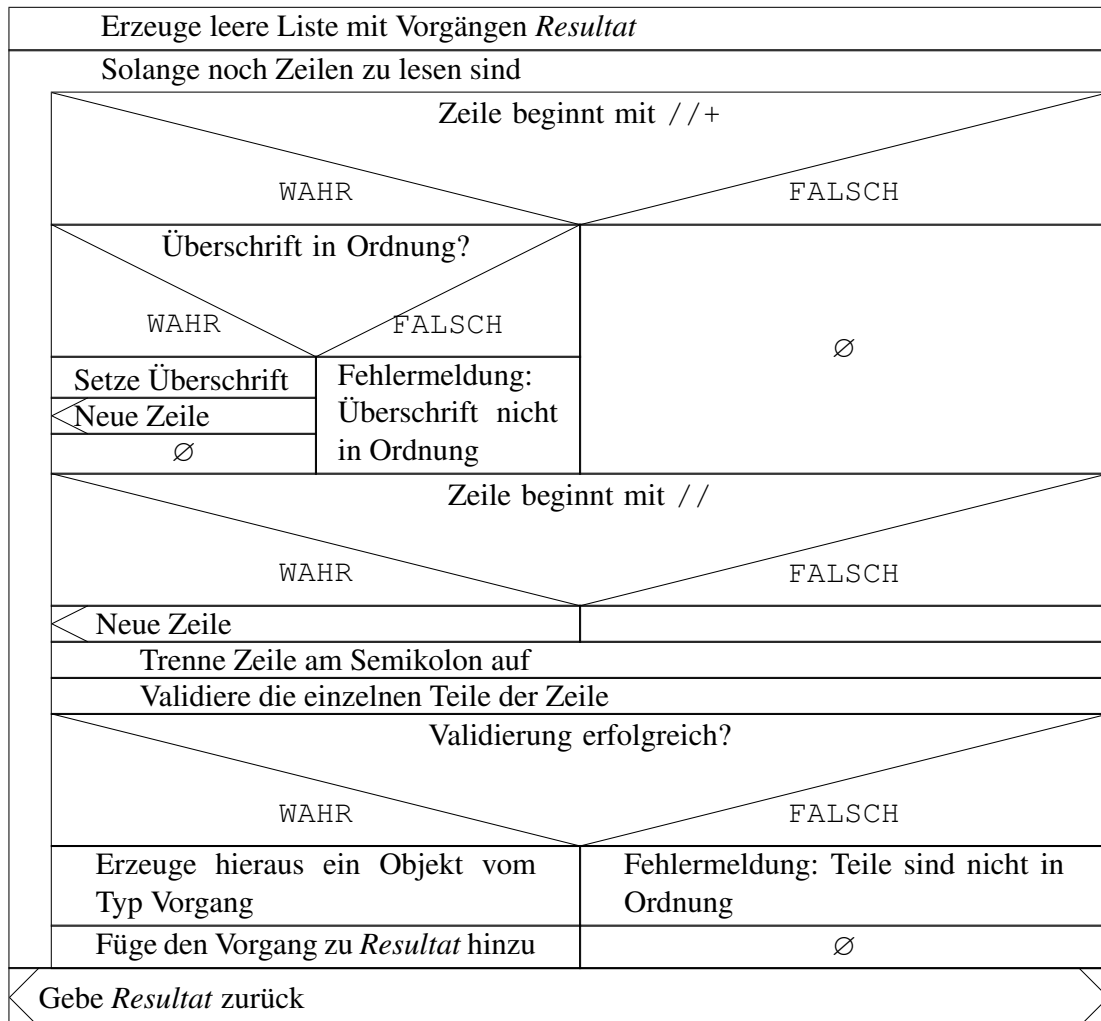


Abbildung 2.2: Algorithmus zum Einlesen der Eingabedatei

abgeprüft, ob die Beziehung eines Vorgangs zu seinen Vorgängern und Nachfolgern konsistent ist: Ist z.B. ein Vorgang *a* als Vorgänger von Vorgang *b* eingetragen, hat diesen aber nicht als Nachfolger, so ist die Beziehung inkonsistent und der Netzplan kann nicht erzeugt werden. Das Programm wird in diesem Fall mit einem Fehler beendet.

Hängt der Graph zusammen?

Nachdem die Adjazenzmatrix erzeugt wurde und die Konsistenz der Beziehungen unter den Vorgängen sichergestellt ist, muss im nächsten Schritt geprüft werden, ob der Graph

auch zusammenhängt, da es sich nur in diesem Fall um einen gültigen Netzplan handelt. Um dies zu bewerkstelligen, wird der bis dahin gerichtete Graph vorübergehend als ungerichtet aufgefasst. Beginnend bei einem beliebigen Knoten wird der Graph im nächsten Schritt traversiert. Bleiben nach dem Durchlaufen noch Knoten übrig, welche nicht besucht wurden, war der Graph nicht zusammenhängend.

Um aus dem gerichteten Graph einen ungerichteten Graph zu erzeugen, kann einfach eine symmetrische Version der Adjazenzmatrix erstellt werden. Hierzu wird zu jedem Element $a_{ij} = 1$ das an der Diagonalen gespiegelte Element a_{ji} ebenfalls auf 1 gesetzt.

Überprüfen auf Zyklen

Da ein gültiger Netzplan keine Zyklen enthalten darf, muss nun geprüft werden, ob der vorliegende Graph auch azyklisch ist. Hierzu wird ausgehend von jedem Startknoten eine Expansion des Graphen gebildet (d.h. es werden alle möglichen Pfade durch den Graphen erzeugt). Sobald ein Pfad im nächsten Schritt der Expansion ein Element aufnehmen würde, welches bereits in diesem Pfad enthalten ist, wurde ein Zyklus entdeckt und das Programm kann mit einem Fehler beendet werden. Die Details des Algorithmus können dem Struktogramm in Abbildung 2.3 entnommen werden.

2.3.2 Vorwärtsrechnung

Nachdem in den letzten Abschnitten sichergestellt wurde, dass aus der Liste an Vorgängen ein gültiger Netzplan erzeugt werden kann, müssen nun die noch fehlenden Einträge FAZ, SAZ, FEZ, SEZ, GP und FP für jeden Vorgang berechnet werden. In der Phase der Vorwärtsrechnung werden für jeden Vorgang die Werte FAZ und FEZ gesetzt, weiterhin kann nach dieser Phase auch die Dauer des Projektes abgelesen werden. Diese entspricht nämlich wie in Abschnitt 1.1 beschrieben dem FEZ der Endvorgänge, insofern dieser eindeutig ist.

Um die Vorwärtsrechnung durchzuführen, wird eine Warteschlange (*Queue*) mit abzuarbeitenden Knoten erzeugt, welche zunächst nur die Startknoten enthält. Solange diese Queue noch Elemente hat, wird in jedem Schritt das erste Element bearbeitet. Hierbei wird zuerst der FEZ des Elements auf FAZ+Dauer gesetzt. Man beachte hierbei, dass Startknoten von Beginn an einen FAZ von 0 haben. Anschließend werden alle Nachfolger des Elements betrachtet. Der FAZ eines jeden Nachfolgers wird nun auf den FEZ des aktuellen Elements gesetzt, wenn sich der FAZ des Nachfolgers hierdurch vergrößert. Jeder Nachfolger, der sich in diesem Schritt geändert hat, wird dann hinten an die Queue der zu bearbeitenden Knoten angefügt und eine neue Iteration beginnt. Eine graphische

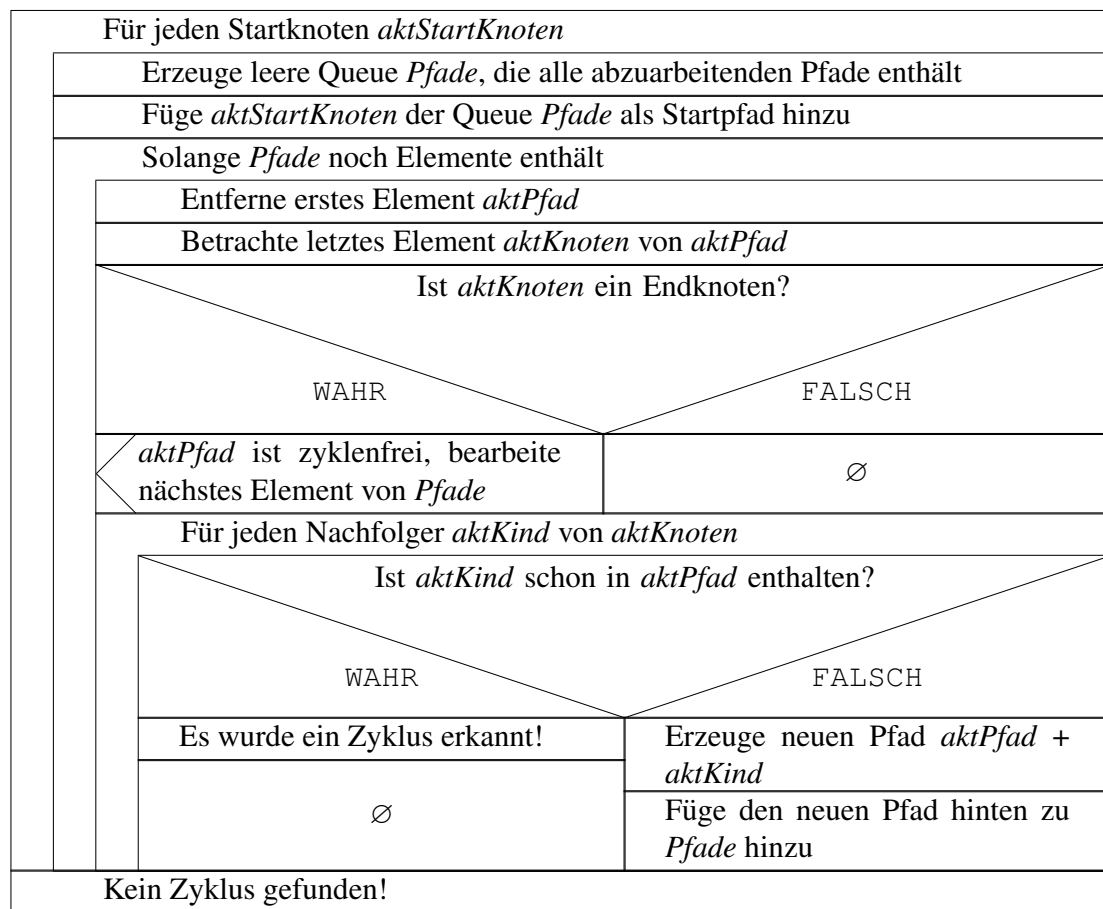


Abbildung 2.3: Algorithmus, der das Auffinden von Zyklen im Graph ermöglicht.

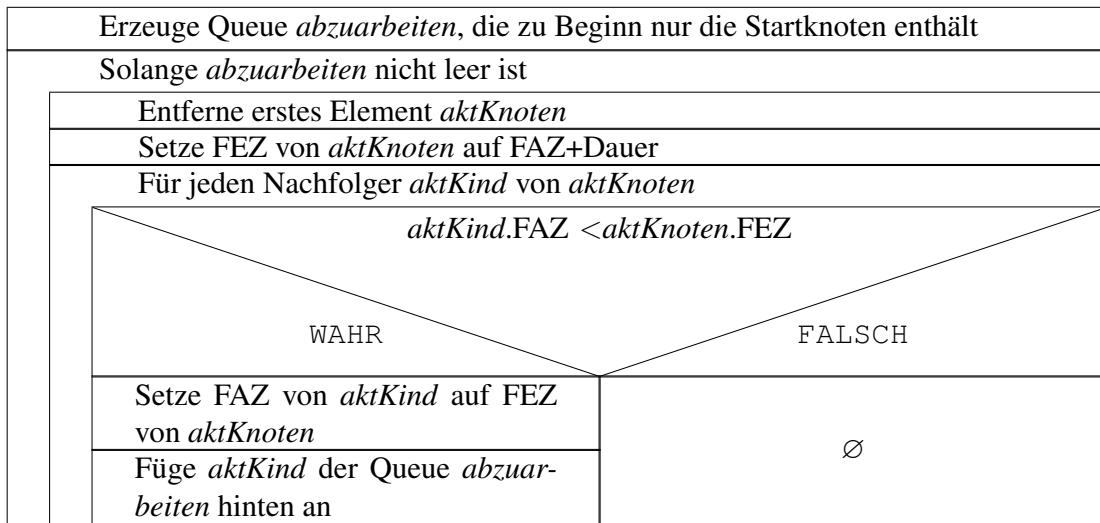


Abbildung 2.4: Algorithmus zur Phase der Vorwärtsrechnung

Darstellung dieses Algorithmus findet sich in Abbildung 2.4.

2.3.3 Rückwärtsrechnung

In der Phase der Rückwärtsrechnung werden nun für jeden Knoten die Werte SAZ und SEZ gesetzt. Hierbei wird ebenfalls eine Queue mit abzuarbeitenden Knoten erzeugt, welche diese Mal nur die Endknoten enthält. Bei jedem Endknoten wird nun $SEZ = FEZ$ gesetzt, da Endknoten keinen Puffer haben. Die Queue wird nun wieder beginnend mit dem ersten Element abgearbeitet, bis sie leer ist. Hierbei wird zunächst der SAZ des aktuellen Elementes auf $SEZ - \text{Dauer}$ gesetzt. Im Anschluss werden alle Vorgänger des Elementes betrachtet. Wurde der SEZ des Vorgängers noch nicht gesetzt oder würde er sich verringern, so wird dieser auf den SAZ des aktuellen Elements gesetzt. Anschließend wird wieder jeder Vorgänger, der sich geändert hat, hinten an die Queue angehängt und die Iteration beginnt von neuem.

2.3.4 Berechnung der Zeitreserven

Die Zeitreserven eines jeden Vorganges werden durch die Attribute GP und FP ausgedrückt. Um diese zu berechnen, werden alle Vorgänge durchlaufen. Hierbei wird für jeden Vorgang $GP = SAZ - FAZ = SEZ - FEZ$ gesetzt. Für den Wert FP gilt folgender Zusammenhang: $FP = \min_{i \in \{\text{Nachfolger}\}} FAZ_i - FEZ$. Dieser wird ebenfalls für jeden Vorgang ermittelt und

gesetzt.

2.4 Auffinden der kritischen Pfade

Nachdem der Netzplan nun vollständig erzeugt wurde, stellt sich noch die Frage, wie die kritischen Pfade gefunden werden können. Hierzu wird mittels einer iterativen Tiefensuche (Breitensuche ist ebenfalls möglich, im Programmsystem ändert sich hier nur eine einzige Zeile) ausgehend von jedem kritischen Startknoten jeder kritische Pfad erzeugt. Sobald ein Endknoten zu einem bis dahin kritischen Pfad hinzugefügt wird, ist ein kritischer Pfad komplett und kann dem Resultat angefügt werden. Ein Überblick dieses Algorithmus inklusive der Unterscheidung von Tiefen- und Breitensuche findet sich in Form eines Struktogramms in Abbildung 2.5.

2.5 Ausgabe der Ergebnisse

Das Format, in dem die Ergebnisse des Programms ausgegeben werden, soll hier anhand des Beispiels in Abbildung 2.6 erläutert werden, welches gleichzeitig die Ausgabe zu der zuvor vorgestellten Eingabedatei bildet.

Das Format der Ausgabedatei wird durch die Überschriftzeile eingeleitet, welche nur den Text der anfangs eingelesenen Überschrift enthält. Es folgt eine Leerzeile, woraufhin die Spaltenüberschriften des Ergebnisses ausgegeben werden. Anschließend wird jeder Vorgang mit all seinen Attributen ausgegeben (Vorgänger und Nachfolger ausgenommen). Nach einer weiteren Leerzeile schließen sich die Anfangsvorgänge, die Endvorgänge und die Gesamtdauer des Projekts an. Es folgt wiederum eine Leerzeile, woraufhin unter der entsprechenden Überschrift die kritischen Pfade untereinander ausgegeben werden.

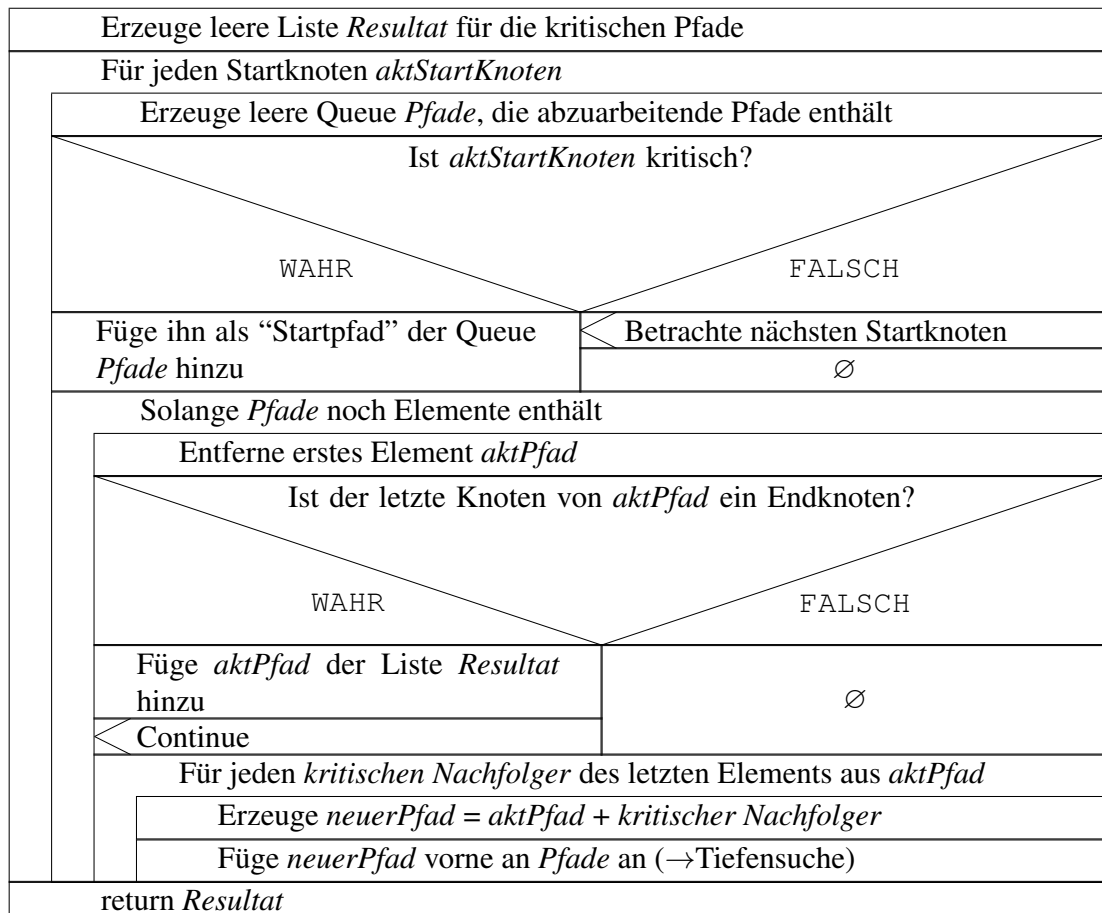


Abbildung 2.5: Algorithmus zum Finden aller kritischen Pfade. Man beachte, dass der Unterschied zur Breitensuche nur in einer Zeile liegt: Bei der Breitensuche würde *neuerPfad* hinten an *Pfade* angefügt.

Installation von POI Kiosken

Vorgangsnummer; Vorgangsbezeichnung; D; FAZ; FEZ; SAZ; SEZ; GP; FP
1; Planung des Projekts; 1; 0; 1; 0; 1; 0; 0
2; Beschaffung der POI-Kioske; 25; 1; 26; 1; 26; 0; 0
3; Einrichtung der POI-Kioske; 10; 26; 36; 26; 36; 0; 0
4; Netzwerk installieren; 6; 1; 7; 29; 35; 28; 0
5; Netzwerk einrichten; 1; 7; 8; 35; 36; 28; 28
6; Aufbau der POI Kioske; 2; 36; 38; 36; 38; 0; 0
7; Tests und Nachbesserung der POI Kioske; 1; 38; 39; 38; 39; 0; 0

Anfangsvorgang: 1

Endvorgang: 7

Gesamtdauer: 39

Kritischer Pfad

1->2->3->6->7

Abbildung 2.6: Die resultierende Ausgabedatei

Kapitel 3

Benutzungsanleitung

3.1 Lieferumfang

Im Lieferumfang dieser Software sind folgende Elemente als Inhalt der .zip-Datei enthalten:

- **Dokumentation:** Enthält die vollständige Beschreibung des Softwaresystems sowie der unterliegenden Verfahren und ist in der Datei `Dokumentation.pdf` zu finden.
- **Das ausführbare Programm:** Das Programm in Form der ausführbaren .jar-Datei `netzplanerstellung-1.0.0.jar`.
- **Quelltext des Programms:** Der vollständige Quelltext des Programms findet sich im Ordner `src`.
- **Testfälle:** Die vollständige Sammlung aller Testfälle liegt im Ordner `testcases`.
- **Skript zum Ausführen aller Testfälle:** Liegt als Datei `run.testcases.ksh` vor.
- **Ant-Buildfile zum automatisierten Übersetzen des Quellcodes:** `build.xml`-Datei.

3.2 Ausführen des Programms

Die Ausführung des Programms kann nach dem folgenden Schema eines Kommandos erfolgen:

```
java -jar netzplanerstellung-1.0.0.jar <Eingabedatei> <Ausgabedatei>
```

Hierbei gibt <Eingabedatei> den Pfad zu einer gültigen Eingabedatei nach dem in Abschnitt 2.2.1 beschriebenen Format an. Wurde das Format nicht eingehalten, so beendet sich das Programm unter Ausgabe einer Fehlermeldung. <Ausgabedatei> gibt den Namen der Datei an, in welcher das Programm die Ergebnisse abspeichern soll.

Achtung: Diese Datei wird nur erzeugt, wenn sich das Programm fehlerfrei beendet. Im Falle eines Fehlers wird eine entsprechende Meldung auf der Kommandozeile ausgegeben, die nähere Informationen enthält.

3.3 Ausführen aller Testfälle

Um alle Testfälle hintereinander ausführen zu können, wurde dem Lieferumfang das Skript `run_testcases.ksh` beigelegt, welches mithilfe eines *Kornshell-Interpreters* ausgeführt werden kann. Der Aufruf kann folgendermaßen erfolgen:

```
./run_testcases.ksh <Programm> <Eingabeordner> <Ausgabeordner>
```

Hierbei gibt <Programm> den Pfad zur ausführbaren .jar-Datei an, <Eingabeordner> beschreibt, in welchem Ordner die Testfälle zu finden sind und <Ausgabeordner> gibt den Ordner an, in dem die Ergebnisdateien abgelegt werden. Optional können die Argumente von rechts nach links weggelassen werden. Die Standardwerte sind in diesem Fall:

- <Programm> = netzplanerstellung-1.0.0.jar
- <Eingabeordner> = testcases
- <Ausgabeordner> = testcases

Ein Aufruf von `./run_testcases.ksh` arbeitet also mithilfe dieser Standardwerte.

Die Vorgehensweise dieses Skriptes kann wie folgt beschrieben werden: Es werden zunächst alle Eingabedaten mit der Endung `.in` aus dem Ordner `<Eingabeordner>` erfasst und nacheinander dem Programm zugeführt. Zugehörig zu jeder Eingabedatei, die das Programm fehlerfrei durchlaufen konnte, wird anschließend im Ordner `<Ausgabeordner>` eine Ergebnisdatei mit der Endung `.out` erzeugt. Konnte die Ergebnisdatei nicht erzeugt werden, so wird die Fehlermeldung des Programms auf der Kommandozeile ausgegeben.

Kapitel 4

Entwicklerdokumentation

4.1 Entwicklungsumgebung

Die Entwicklung der Software wurde in folgender Umgebung vorgenommen:

Programmiersprache	: Java
Compiler	: javac 1.8.0_161
Rechner	: Intel Core i7-4790 CPU @ 3.60GHz, 16GB RAM
Betriebssystem	: Ubuntu 16.04 LTS

Weiterhin wurde zum Übersetzen der Software das Build-Management-Tool *Ant* in der *Version 1.9.6* verwendet. Das Skript `run_testcases.ksh`, welches der Hintereinanderausführung aller Testfälle dient, wurde auf Basis des *Kornshell-Interpreters* verfasst.

4.2 Aufbau der Software

4.2.1 Klassenstruktur

Die Klassenstruktur der Software wird an dieser Stelle durch das in Abbildung 4.1 gezeigte UML-Klassendiagramm beschrieben. Die Aufgaben der einzelnen Klassen werden an dieser Stelle kurz erläutert.

- **Vorgang:** Dient der Repräsentation eines Vorgangs. Ist in der Lage, sich durch die

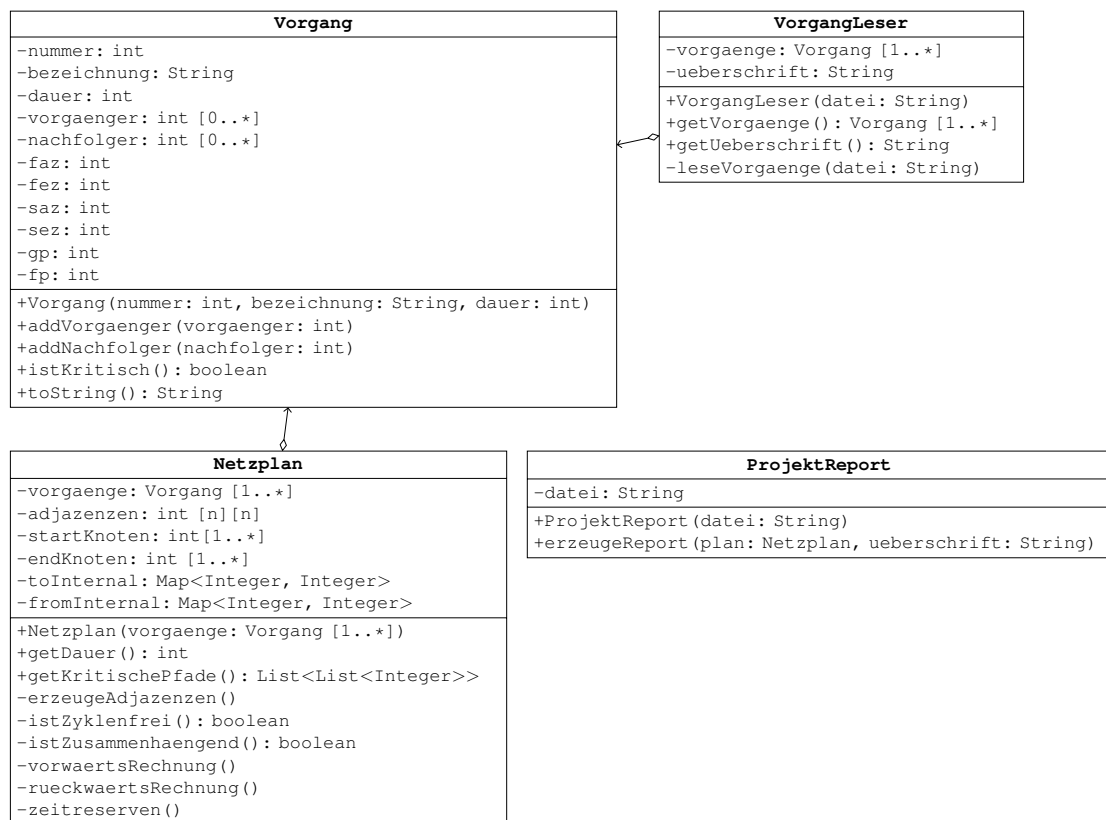


Abbildung 4.1: Der grundlegende Aufbau der verwendeten Klassen.

Methode `toString()` selbst als `String` umzuwandeln. Durch `istKritisch()` kann abgefragt werden, ob der Vorgang kritisch ist.

- **Netzplan:** Klasse zur Darstellung eines Netzplanes. Enthält Methoden zur Konstruktion und Validierung, sowie zum Erzeugen aller kritischen Pfade.
- **VorgangLeser:** Diese Klasse dient einzig dem Einlesen von Vorgängen aus einer Datei. Die eingelesenen Vorgänge werden in Form einer Liste an den Anwender zurückgegeben.
- **ProjektReport:** Dient der Erzeugung eines persistenten Projektreports, welcher die Ergebnisse nach dem beschriebenen Format wiedergibt.

4.2.2 Softwarearchitektur

Der architektonische Aufbau der Software entspricht den untersten beiden Schichten einer *Drei-Schichten-Architektur*. Die *Präsentationsschicht* wurde hier bewusst nicht berücksichtigt, da während des eigentlichen Programmablaufs keine Benutzerinteraktion stattfindet. Sie kann allerdings aufbauend auf den existierenden Schichten *Datenhaltung* und *Logik* problemlos aufgesetzt werden. Die Klassen des Programms können den einzelnen Schichten wie folgt zugeordnet werden:

- **Datenhaltungsschicht:** VorgangLeser und ProjektReport sind teile der Datenhaltungsschicht, da sie für die Kommunikation des Programms mit einem persistenten Datenträger verantwortlich sind.
- **Logikschicht:** Hier sind die Klassen Vorgang und Netzplan anzusiedeln, da die tatsächlichen Berechnungen innerhalb dieser Klassen (hauptsächlich in der Klasse Netzplan) vollzogen werden.

4.3 Übersetzen der Software

Um die Software zu übersetzen, empfiehlt es sich, das Build-Management-Tool *Ant* in der genannten Version zu verwenden. Gibt man den Befehl `ant` im Verzeichnis der `build.xml`-Datei in der Kommandozeile ein, so erzeugt Ant automatisch zwei neue Verzeichnisse: Das Verzeichnis `build`, in welchem die übersetzten Dateien abgelegt werden und das Verzeichnis `dist`, in welchem das ausführbare Programm in Form einer `.jar`-Datei erzeugt wird. Durch einen Aufruf von `ant clean` werden alle im Zuge der Übersetzung erzeugten Dateien und Verzeichnisse wieder entfernt.

4.3.1 Übersetzen ohne den Einsatz von Ant

Möchte man das Programm ohne den Einsatz von Ant übersetzen, so sollte zunächst manuell ein Verzeichnis (z.B. `build`) erzeugt werden, in welchem die übersetzten Dateien vom Compiler abgelegt werden können. Ausgehend vom Hauptverzeichnis kann nun durch den Befehl

```
javac -d build/ -sourcepath src/ src/netzplanerstellung/Main.java
```

das Programm übersetzt werden.

Erzeugen einer ausführbaren .jar-Datei ohne Ant

Um ohne den Einsatz von Ant eine ausführbare .jar-Datei erzeugen zu können, muss zunächst ein Manifest erzeugt werden, welches in jeder ausführbaren .jar-Datei vorhanden sein muss und zumindest Informationen über die Hauptklasse enthält. Es ist hierzu ausreichend, die folgenden Informationen in einer Datei `MANIFEST.MF` abzulegen:

```
1 Main-Class: netzplanerstellung.Main
2 <Leerzeile>
```

Man beachte, dass die `MANIFEST.MF` Datei mit einer Leerzeile enden muss. Soll die .jar-Datei nicht im aktuellen Verzeichnis erzeugt werden, so kann zunächst ein Ordner `dist` angelegt werden. Mit dem folgenden Befehl kann anschließend in diesem Ordner die ausführbare .jar-Datei erzeugt werden:

```
jar cmf MANIFEST.MF dist/netzplanerstellung-1.0.0.jar -C build .
```

Kapitel 5

Testdokumentation

In diesem Kapitel werden nun alle mitgelieferten Testfälle aufgelistet, beschrieben und diskutiert. Die Zusammenstellung dieser Testfälle ist schon während der Implementierung nach dem *Whitebox*-Prinzip erfolgt: Jede neue Verzweigung im Programm wurde sofort mithilfe eines neuen Testfalls festgehalten. Um diesen Vorgang der Entwicklung zu beschreiben, passt ebenfalls der Begriff *Test-Driven-Development*.

Die Gesamtheit der Testfälle wird hier in folgende Kategorien unterteilt:

- **Normalfälle:** Führen zu einer ordnungsgemäßen Abarbeitung des Programms.
- **Sonderfälle:** Enthalten Spezialfälle, wie z.B. ein Minimalbeispiel, um auch ungewöhnliche Situationen testen zu können.
- **Fehlerfälle:** Führen nicht zu einer ordnungsgemäßen Abarbeitung des Programms und ziehen Fehlermeldungen nach sich.

Sämtliche Testfälle sind im Ordner `testcases` zu finden. Zu jedem Testfall, welcher in einer ordnungsgemäßen Abarbeitung des Programms mündet, findet sich ebenfalls im Ordner `testcases` eine zugehörige Ausgabedatei mit der Endung `.out`.

5.1 Normalfälle

Name: Installation von POI Kiosken
Dateiname: `ihk_01.in`
Beschreibung: Projekt, welches sich mit der Einrichtung eines Kiosk-Terminals beschäftigt. Es enthält eine Verzweigung nach dem Startvorgang, die an Vorgang Nr. 6 wieder zusammengeführt wird. Das Projekt enthält einen einzigen kritischen Pfad.
Diskussion: Bei diesem Testfall handelt es sich um ein einfaches Normalbeispiel, welches die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des Programms unter Beweis stellt.

Name: Wasserfallmodell
Dateiname: `ihk_02.korrigiert.in`
Beschreibung: Dieser Testfall veranschaulicht die Vorgehensweise bei der Softwareentwicklung nach dem Wasserfallmodell. Es gibt keinerlei Verzweigungen und nur einen kritischen Pfad. Dieses Beispiel wurde aus der ursprünglichen Datei `ihk_02.in` erzeugt, indem in Zeile 11 der Vorgänger von Vorgang 6 auf Vorgang 5 korrigiert wurde.
Diskussion: Der Testfall gibt einen simplen Fall ohne Verzweigungen an und stellt sicher, dass das Programm auch bei listenähnlichen Netzplänen den einzigen kritischen Pfad findet.

Name: Beispiel 3
Dateiname: `ihk_03.in`
Beschreibung: Dieser Testfall stellt ein Projekt mit mehreren Start- und Endvorgängen dar. Er enthält mehrere Verzweigungen und zwei kritische Pfade.
Diskussion: Dieser Testfall zeigt, dass das Programm auch in der Lage ist, bei mehreren Start- und Endvorgängen korrekt zu arbeiten. Weiterhin wird demonstriert, dass auch mehrere kritische Pfade fehlerfrei gefunden werden.¹

¹Die Ausgabe des Programms stimmt an einer Stelle aus gutem Grund nicht mit der aus der Aufgabenstellung gegebenen Kontrolllösung überein: Der SEZ von Vorgang 8 beträgt richtigerweise 12 und nicht 13, wie es in der Beispielausgabe steht.

Name:	Beispiel 5 IT-Installation
Dateiname:	ihk_05_korrigiert.in
Beschreibung:	Hier wird ein komplexes Beispiel mit 17 verschiedenen und verzweigten Vorgängen illustriert. Dieses Beispiel wurde aus der ursprünglichen Datei <code>ihk_05.in</code> erzeugt, indem in Zeile 13 bei Vorgang 8 der Vorgänger auf Vorgang 4 korrigiert wurde. Bei diesem Testfall gibt es einen kritischen Pfad.
Diskussion:	Dies ist der bis hierhin komplexeste Testfall, den das Programm bisher abarbeiten musste und es zeigt sich, dass es auch hier nicht auf Probleme stößt. ²

5.2 Sonderfälle

Name:	Nummern ausser der Reihe
Dateiname:	sonderfall_01.in
Beschreibung:	Dieser Testfall hat im Wesentlichen den gleichen Inhalt wie die Datei <code>ihk_01.in</code> , bis auf einen Unterschied: Die Nummer von ehemals Vorgang 1 wurde auf 700 gesetzt und die Nummer von ehemals Vorgang 4 wurde auf -25 festgelegt.
Diskussion:	Hier soll geprüft werden, ob das Programm auch dann noch korrekt arbeitet, wenn die Vorgangsnummern nicht genau in einer Reihe aufeinander folgen. Dank der Definition der Abbildung <code>g</code> , auch als <code>toInternal</code> im Quelltext zu finden (Abbildung der externen auf die internen Vorgangsnummern), sind auch unorthodoxe Vorgangsnummern kein Problem für das Programm.

Name:	Ein einziger Knoten
Dateiname:	sonderfall_02.in
Beschreibung:	Dieses Projekt besteht aus nur einem Vorgang, welcher gleichzeitig Start- und Endvorgang ist.
Diskussion:	Dieser Testfall stellt das kleinste noch funktionsfähige Beispiel dar. Auch hier ist das Programm erfolgreich und berechnet den einzigen kritischen Pfad korrekt.

²Aufgrund der Korrektur stimmt auch hier die Ausgabe des Programms nicht mit der gegebenen Kontrolllösung überein.

5.3 Fehlerfälle

Name:	Wasserfallmodell
Dateiname:	ihk_02.in
Beschreibung:	Diese Eingabedatei enthält einen Tippfehler: Vorgang 6 hat den nicht existenten Vorgang 7 als Vorgänger, obwohl er eigentlich Nachfolger von Vorgang 5 ist.
Diskussion:	Hier wird erstmals überprüft, ob das Programm Inkonsistenzen in der Vorgänger - Nachfolger - Relation korrekt erkennt.
Fehlermeldung:	Fehler bei der Erstellung des Netzplans: Inkonsistente Beziehung gefunden! Vorgang 5 hat Vorgang 6 als Nachfolger, ist aber selbst nicht Vorgänger von diesem!
Name:	Beispiel 4 mit Zyklus
Dateiname:	ihk_04.in
Beschreibung:	Weiterer Test zur Erkennung von Inkonsistenzen.
Diskussion:	Dieser gegebene Fehlerfall sollte vermutlich einen Zyklus illustrieren, enthält allerdings Inkonsistenzen in den Beziehungen der Vorgänge.
Fehlermeldung:	Fehler bei der Erstellung des Netzplans: Inkonsistente Beziehung gefunden! Vorgang 4 hat Vorgang 3 als Nachfolger, ist aber selbst nicht Vorgänger von diesem!
Name:	Beispiel 4 mit Zyklus (korrigiert)
Dateiname:	ihk_04_korrigiert.in
Beschreibung:	Das Projekt zu diesem Testfall führt nicht zu einem gültigen Netzplan, da es einen Zyklus enthält. Die Korrektur zum vorigen Beispiel wurde in Zeile 8 durchgeführt: Vorgang 3 hat nun Vorgang 4 auch als Vorgänger, damit ein Zyklus zustande kommt.
Diskussion:	Hier wird erstmals überprüft, ob das Programm Zyklen im Netzplan erkennt.
Fehlermeldung:	Fehler bei der Erstellung des Netzplans: Es wurde ein Zyklus erkannt! 3->4->3

Name:	Nicht existierender Vorgänger
Dateiname:	fehlerfall1_01.in
Beschreibung:	Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei <code>ihk_01.in</code> , nur dass in Zeile 7 der nicht existierende Vorgang 8 als Vorgänger von Vorgang 2 eingetragen wurde.
Diskussion:	Dieser Testfall zeigt, dass das Programm in der Lage ist, nicht existierende Vorgänger zu erkennen.
Fehlermeldung:	Fehler bei der Erstellung des Netzplans: Vorgang 2 hat Vorgang 8 als Vorgänger, obwohl dieser nicht existiert!

Name:	Leere Überschrift
Dateiname:	fehlerfall1_02.in
Beschreibung:	Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei <code>ihk_01.in</code> , nur dass in Zeile 2 eine leere Überschrift angegeben wurde.
Diskussion:	Nach Abschnitt 2.2.1 muss sich in jeder gültigen Eingabedatei genau eine nicht-leere Überschrift befinden. Das Programm erkennt diese Datei also korrekt als ungültig an.
Fehlermeldung:	Fehler beim Einlesen in Zeile 2: Leere Überschriften sind ungültig!

Name:	Keine Überschrift
Dateiname:	fehlerfall1_03.in
Beschreibung:	Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei <code>ihk_01.in</code> , nur dass keine Überschrift angegeben wurde.
Diskussion:	Nach Abschnitt 2.2.1 muss sich in jeder gültigen Eingabedatei genau eine nicht-leere Überschrift befinden. Das Programm erkennt diese Datei also korrekt als ungültig an.
Fehlermeldung:	Fehler beim Einlesen: Keine Überschrift gefunden!

Name:	Zwei Überschriften
Dateiname:	fehlerfall1_04.in
Beschreibung:	Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei <code>ihk_01.in</code> , nur dass in Zeile 3 eine zweite Überschrift angegeben wurde.
Diskussion:	Nach Abschnitt 2.2.1 muss sich in jeder gültigen Eingabedatei genau eine nicht-leere Überschrift befinden. Das Programm erkennt diese Datei also korrekt als ungültig an.
Fehlermeldung:	Fehler beim Einlesen in Zeile 3: Nur eine Überschrift pro Datei erlaubt!

Name:	Ungültige Anzahl Spalten
Dateiname:	fehlerfall_05.in
Beschreibung:	Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei <code>ihk_01.in</code> , nur dass in Zeile 6 die Spalte Dauer entfernt wurde.
Diskussion:	Eine gültige Datenzeile besteht nach Abschnitt 2.2.1 immer aus genau 5 durch Semikola getrennten Elementen. Da hier ein Element fehlt, wird dies zurecht als Fehler erkannt.
Fehlermeldung:	Fehler beim Einlesen in Zeile 6: Erwarte 5 Elemente pro Zeile, 4 erhalten.

Name:	Ungültige Vorgangsnummer
Dateiname:	fehlerfall_06.in
Beschreibung:	Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei <code>ihk_01.in</code> , nur dass in Zeile 11 die ungültige Vorgangsnummer "6a" eingetragen wurde.
Diskussion:	Gültige Vorgangsnummern sind nach Abschnitt 2.1.1 immer ganze Zahlen. Das Programm erkennt hier also zurecht eine ungültige Vorgangsnummer und beendet sich mit einem Fehler.
Fehlermeldung:	Fehler beim Einlesen in Zeile 11: Ungültige Vorgangsnummer 6a

Name:	Leere Vorgangsbezeichnung
Dateiname:	fehlerfall_07.in
Beschreibung:	Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei <code>ihk_01.in</code> , nur dass in Zeile 10 eine leere Vorgangsbezeichnung eingetragen wurde.
Diskussion:	Gültige Vorgangsbezeichnungen sind nach Abschnitt 2.1.1 immer nicht-leere Zeichenketten. Das Programm erkennt hier also zurecht eine ungültige Vorgangsbezeichnung und beendet sich mit einem Fehler.
Fehlermeldung:	Fehler beim Einlesen in Zeile 10: Keine leere Vorgangsbezeichnung erlaubt!

Name:	Ungültige Dauer
Dateiname:	fehlerfall_08.in
Beschreibung:	Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei <code>ihk_01.in</code> , nur dass in Zeile 9 die ungültige Dauer "6a" eingetragen wurde.
Diskussion:	Gültige Dauern sind nach Abschnitt 2.1.1 immer Elemente der natürlichen Zahlen. Das Programm erkennt hier also zurecht eine ungültige Dauer und beendet sich mit einem Fehler.
Fehlermeldung:	Fehler beim Einlesen in Zeile 9: Ungültige Vorgangsdauer 6a

Name:	Negative Dauer
Dateiname:	fehlerfall_09.in
Beschreibung:	Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei <code>ihk_01.in</code> , nur dass in Zeile 9 eine negative Dauer eingetragen wurde.
Diskussion:	Gültige Dauern sind nach Abschnitt 2.1.1 immer Elemente der natürlichen Zahlen. Das Programm erkennt hier also zurecht eine ungültige Dauer und beendet sich mit einem Fehler.
Fehlermeldung:	Fehler beim Einlesen in Zeile 9: Dauern ≤ 0 sind nicht erlaubt!

Name:	Keine Dauer
Dateiname:	fehlerfall_10.in
Beschreibung:	Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei <code>ihk_01.in</code> , nur dass in Zeile 9 keine Dauer eingetragen wurde.
Diskussion:	Gültige Dauern sind nach Abschnitt 2.1.1 immer Elemente der natürlichen Zahlen. Das Programm erkennt hier also zurecht eine ungültige Dauer und beendet sich mit einem Fehler.
Fehlermeldung:	Fehler beim Einlesen in Zeile 9: Ungültige Vorgangsdauer

Name:	Ungültige Vorgänger
Dateiname:	fehlerfall_11.in
Beschreibung:	Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei <code>ihk_01.in</code> , nur dass in Zeile 8 ein ungültiger Vorgänger, nämlich die Zeichenkette "falsch", eingetragen wurde.
Diskussion:	Gültige Vorgänger sind nach Abschnitt 2.1.1 immer gültige Vorgangsnummern, die durch ein Komma getrennt wurden. Das Programm erkennt hier also zurecht einen ungültigen Vorgänger und beendet sich mit einem Fehler.
Fehlermeldung:	Fehler beim Einlesen in Zeile 8: Ungültiger Vorgänger falsch

Name:	Doppelte Vorgangsnummer
Dateiname:	fehlerfall_12.in
Beschreibung:	Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei <code>ihk_01.in</code> , nur dass in Zeile 12 die Vorgangsnummer 1 doppelt vergeben wurde.
Diskussion:	Gültige Vorgangsnummern sind nach Abschnitt 2.1.1 immer eindeutig. Das Programm erkennt hier also zurecht eine ungültige Vorgangsnummer und beendet sich mit einem Fehler.
Fehlermeldung:	Fehler beim Einlesen in Zeile 12: Vorgangsnummer 1 mehrfach vorhanden!

Name: Ungültige Nachfolger
Dateiname: fehlerfall13.in
Beschreibung: Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei `ihk_01.in`, nur dass in Zeile 8 ein ungültiger Nachfolger, nämlich die Zeichenkette "falsch", eingetragen wurde.
Diskussion: Gültige Nachfolger sind nach Abschnitt 2.1.1 immer gültige Vorgangsnummern, die durch ein Komma getrennt wurden. Das Programm erkennt hier also zurecht einen ungültigen Nachfolger und beendet sich mit einem Fehler.
Fehlermeldung: Fehler beim Einlesen in Zeile 8: Ungültiger Nachfolger falsch

Name: Nicht existierender Nachfolger
Dateiname: fehlerfall14.in
Beschreibung: Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei `ihk_01.in`, nur dass in Zeile 7 bei Vorgang 2 der nicht existierende Nachfolger 8 eingetragen wurde.
Diskussion: Dieser Testfall zeigt, dass das Programm in der Lage ist, nicht existierende Nachfolger zu erkennen.
Fehlermeldung: Fehler bei der Erstellung des Netzplans: Vorgang 2 hat Vorgang 8 als Nachfolger, obwohl dieser nicht existiert!

Name: Ungültige Vorgängerbeziehung
Dateiname: fehlerfall15.in
Beschreibung: Dieser Fehlerfall basiert auf der gültigen Datei `ihk_01.in`, nur dass in Zeile 6 bei Vorgang 1 der Vorgang 2 aus der Liste seiner Nachfolger entfernt wurde.
Diskussion: Dieser Testfall zeigt, dass das Programm eine Inkonsistenz erkennt, wenn ein Vorgang einen Vorgänger angibt, dessen Nachfolger er aber nicht ist.
Fehlermeldung: Fehler bei der Erstellung des Netzplans: Inkonsistente Beziehung gefunden! Vorgang 2 hat Vorgang 1 als Vorgänger, ist aber selbst nicht Nachfolger von diesem!

Name:	Nicht zusammenhängender Plan
Dateiname:	<code>fehlerfall_16.in</code>
Beschreibung:	Dieser Fehlerfall enthält ein Projekt, welches aus nicht zusammenhängenden Einzelteilen besteht. Hier bilden die Vorgänge 1 und 2, sowie die Vorgänge 3 und 4 jeweils eine Kette.
Diskussion:	Mit diesem Testfall wird überprüft, ob das Programm erkennt, wenn ein Netzplan nicht zusammenhängt. An dieser Stelle beendet sich das Programm richtigerweise mit der Meldung, dass man ausgehend von Vorgang 1 weder Vorgang 3 noch 4 erreichen kann, selbst wenn man entgegen der Pfeilspitzen läuft (was hier mit ungerichtet gemeint ist).
Fehlermeldung:	Fehler bei der Erstellung des Netzplans: Der Netzplan ist nicht zusammenhängend! Es existiert kein ungerichteter Pfad zwischen Vorgang 1 und den Vorgängen 3, 4

Name:	Zwei einzelne Knoten
Dateiname:	<code>fehlerfall_17.in</code>
Beschreibung:	Dieses Projekt besteht ebenfalls aus nicht zusammenhängenden Einzelteilen. Dieses Mal sind es nur zwei einzelne Knoten.
Diskussion:	Dieser Testfall dient als eine Art Minimalbeispiel zu Fehlerfall Nr. 16. Hier wird auch der kleinste nicht zusammenhängende Netzplan erkannt.
Fehlermeldung:	Fehler bei der Erstellung des Netzplans: Der Netzplan ist nicht zusammenhängend! Es existiert kein ungerichteter Pfad zwischen Vorgang 1 und 2

Name:	Kein Startknoten vorhanden
Dateiname:	<code>fehlerfall_18.in</code>
Beschreibung:	In diesem Projekt wurde aus der gültigen Datei <code>ihk_01.in</code> der Startknoten 1 entfernt.
Diskussion:	Mit diesem Testfall wird sichergestellt, dass das Programm auch erkennt, wenn ein Netzplan keinen Startknoten enthält.
Fehlermeldung:	Fehler bei der Erstellung des Netzplans: Es existiert kein Startvorgang!

Name: Kein Endknoten vorhanden
Dateiname: fehlerfall19.in
Beschreibung: In diesem Projekt wurde aus der gültigen Datei `ihk_01.in` der Endknoten 7 entfernt.
Diskussion: Mit diesem Testfall wird sichergestellt, dass das Programm auch erkennt, wenn ein Netzplan keinen Endknoten enthält.
Fehlermeldung: Fehler bei der Erstellung des Netzplans: Es existiert kein Endvorgang!

Name: Minimaler Zyklus
Dateiname: fehlerfall20.in
Beschreibung: In diesem Projekt existieren drei Vorgänge, wobei der mittlere Vorgang der Kette (Vorgang 2) einen Verweis auf sich selbst enthält.
Diskussion: Dieser Testfall dient als Minimalbeispiel der Erkennung von Zyklen im Netzplan. Auch Knoten, die mit sich selbst Zyklen bilden, werden vom Programm erkannt.
Fehlermeldung: Fehler bei der Erstellung des Netzplans: Es wurde ein Zyklus erkannt! 2->2

Name: Doppelter Nachfolger
Dateiname: fehlerfall21.in
Beschreibung: In diesem Projekt, welches wieder auf der gültigen Datei `ihk_01.in` basiert, hat Vorgang 2 (Zeile 7) einen doppelten Nachfolger (Vorgang 3).
Diskussion: Doppelte Nachfolger deuten auf Fehler bei der Eingabe hin und sollten daher vom Programm erkannt und gemeldet werden.
Fehlermeldung: Fehler beim Einlesen in Zeile 7: Doppelter Nachfolger 3

Name: Doppelter Vorgänger
Dateiname: fehlerfall22.in
Beschreibung: In diesem Projekt, welches wieder auf der gültigen Datei `ihk_01.in` basiert, hat Vorgang 2 (Zeile 7) einen doppelten Vorgänger (Vorgang 1).
Diskussion: Doppelte Vorgänger deuten auf Fehler bei der Eingabe hin und sollten daher vom Programm erkannt und gemeldet werden.
Fehlermeldung: Fehler beim Einlesen in Zeile 7: Doppelter Vorgänger 1

Name: Keine Vorgänge
Dateiname: fehlerfall_23.in
Beschreibung: Diese Datei enthält zwar Kommentarzeilen und eine gültige Überschriftzeile, allerdings keine Datenzeilen.
Diskussion: Jede gültige Eingabedatei muss mindestens eine Datenzeile enthalten. Die Meldung des Fehlers erfolgt hier, indem darauf hingewiesen wird, dass kein Startvorgang existiert. Somit bedurfte dieser Testfall keiner weiteren Änderung im Programm, da er schon durch die Prüfung auf Startvorgänge abgehandelt werden konnte.
Fehlermeldung: Fehler bei der Erstellung des Netzplans: Es existiert kein Startvorgang!

Name: Die leere Datei
Dateiname: fehlerfall_24.in
Beschreibung: Die leere Eingabedatei.
Diskussion: Hier wird sichergestellt, dass sich das Programm auch bei einer leeren Eingabedatei noch korrekt beendet. Dieser Fehlerfall wurde schon durch die Prüfung der Überschrift abgefangen, was die Fehlermeldung erklärt.
Fehlermeldung: Fehler beim Einlesen: Keine Überschrift gefunden!

Kapitel 6

Ausblick

An dieser Stelle sei abschließend noch eine Auswahl an Ideen vermerkt, mit denen der Funktionsumfang dieser Software in Zukunft noch erweitert, verbessert, oder ergänzt werden könnte.

6.1 Implementierung der Präsentationsschicht

Da in der Planungsphase des Projekts keinerlei Benutzerinteraktion angedacht war, wurde die Präsentationsschicht aus der Drei-Schichten-Architektur bisher vernachlässigt. Es empfiehlt sich allerdings, diesen Sachverhalt zu ändern, um die Software benutzungsfreundlicher zu gestalten. Da keine der unteren Schichten in der Drei-Schichten-Architektur von der Präsentationsschicht abhängt, ließe sich diese als reine Erweiterung auf der bisherigen Implementierung aufbauen. So kann es dem Benutzer erleichtert werden, Dateien zur Bearbeitung auszuwählen und sich die berechneten Ergebnisse auch graphisch darstellen zu lassen.

6.2 Optimierung der Speicherung des Graphen

Die gewählte Speicherung des Graphen als Adjazenzmatrix kann noch optimiert werden. Der Vorteil einer Adjazenzmatrix ist sicherlich die leichte Implementierung und das schnelle Überprüfen einer Verbindung in $\mathcal{O}(1)$. Auch das Überprüfen auf Zusammenhang des Graphen ließ sich mithilfe der Adjazenzmatrix leicht durchführen. Leider wächst der Speicherbedarf des Graphen jedoch quadratisch mit der Anzahl der Knoten, wenn man

eine Adjazenzmatrix verwendet. Dies ist zwar in der heutigen Zeit selbst bei großen Projekten nicht das Problem (selbst bei 10000 Knoten würde die Matrix bei 4-Byte Integern nur ca. 400MB verbrauchen), kann jedoch verbessert werden. Hierzu könnte die Matrix beispielsweise als dünn besetzte Matrix abgespeichert werden, da die meisten Knoten untereinander nicht verbunden sind und so viele Nulleinträge entstehen. Mithilfe des sogenannten *Compressed Row Storage (CRS)*-Formats ließe sich so der Speicheraufwand signifikant reduzieren.

6.3 Unterstützung weiterer Ein- und Ausgabeformate

Um die Interoperabilität dieser Software mit anderen Systemen der Projektplanung zu erleichtern, sollte das Repertoire an unterstützten Formaten erweitert werden. Es existieren aktuell viele deklarative Dateiformate, welche sich großer Beliebtheit erfreuen. Als Beispiele seien an dieser Stelle Formate wie XML oder JSON genannt, die sich hervorragend dazu eignen, logische Strukturen wie Vorgänge, Projekte und Netzpläne darzustellen. Um diese neuen Formate nun ohne großen Aufwand in das bestehende Programm einzugliedern, sind ein paar Handgriffe des objektorientierten Design erforderlich. Diese sollen hier nun kurz skizziert werden:

Eines der Grundprinzipien des objektorientierten Entwurfs wird wohl durch das folgende Sprichwort treffend beschrieben:

„Encapsulate the concept that varies.“

Dementsprechend sollte man die Teile eines Programmes, welche oft ausgetauscht oder verändert werden, durch klar definierte Schnittstellen kapseln. Somit bietet es sich an, für die Unterstützung der neuen Dateiformate eine neue Klassenhierarchie zu bilden, welche die Strategien zum Einlesen und zum Ausgeben der neuen Formate enthält. Je nachdem, welches Format zur Laufzeit verarbeitet werden soll, ließen sich Ein- und Ausgabeeinheit mit einer konkreten Strategie konfigurieren, welche die formateigene Logik in sich trägt. Die Kommunikation mit der Strategie würde dann über die feste Schnittstelle einer abstrakten Klasse ablaufen, damit Vorgänge und Netzpläne unabhängig von der tatsächlich eingesetzten Strategie verarbeitet werden können. Neue Formate ließen sich auf diese Weise leicht durch Unterklassenbildung einer weiteren konkreten Strategie hinzufügen, ohne andere Teile des Programms ändern zu müssen.¹

¹Die hier dargelegten Ausführungen beziehen sich im Wesentlichen auf das „Strategy-Pattern“, welches in *Design Patterns. Elements of Reusable Object-Oriented Software* detailliert beschrieben wird.

Anhang A

Abweichungen und Ergänzungen zum Vorentwurf

Die Änderungen und Abweichungen, die sich zwischen dem Vorentwurf und der aktuellen Version ergeben haben, seien hier anhand der Klassen und Methoden aufgeführt, in denen sie aufgetreten sind.

A.1 Änderungen in der Klasse Netzplan

A.1.1 Abbildung zwischen internen und externen Vorgangsnummern

Ein neues Konzept, welches noch nicht im ersten Entwurf aufgeführt wurde, bildet die in Abschnitt 2.1.2 beschriebene Abbildung g , welche die Vorgangsnummern auf die Folge der ersten natürlichen Zahlen abbildet. Innerhalb des Programms wurde dies mithilfe der `Map<Integer, Integer> toInternal` realisiert, welche zu jeder Vorgangsnummer den Index in der Liste aus Vorgängen speichert (dies bedeutet, dass der Wertebereich der natürlichen Zahlen in der Implementierung um die 0 erweitert wurde). Dieses Vorgehen ermöglicht ein schnelles Zugreifen auf Vorgänger und Nachfolger und sichert ebenfalls zu, dass beliebige ganzzahlige Vorgangsnummern auftreten dürfen. Die Umkehrabbildung g^{-1} ist durch `Map<Integer, Integer> fromInternal` gegeben.

A.1.2 Erweitertes Prüfen der Nachfolger - Vorgänger - Relation

Während im Entwurf im Struktogramm zur Methode `erzeugeAdjazenzen()` lediglich geprüft wurde, ob für jeden Vorgang die Beziehung zu seinen Nachfolgern konsistent ist, wird nun auch sichergestellt, dass die Beziehung zu seinen Vorgängern ebenfalls konsistent ist. Dieser Schritt ist – insbesondere im Hinblick auf die Rückwärtsrechnung – unerlässlich.

A.1.3 Einsatz von Exceptions in den Methoden `istZyklenfrei()` und `istZusammenhaengend()`

Um auch detaillierte Fehlermeldungen ausgeben zu können, sind die im Entwurf vorgeschlagenen Signaturen `private boolean istZyklenfrei()` und `private boolean istZusammenhaengend()` nicht ausreichend. Aus diesem Grund wird im Falle eines ungültigen Netzplanes bei diesen Methoden anstelle eines Wahrheitswertes eine Exception geworfen.

A.1.4 Queue aus Pfaden statt Liste aus Knoten in der Methode `istZyklenfrei()`

Der im Entwurf vorgeschlagene Algorithmus zum Auffinden von Zyklen musste leicht erweitert werden, damit er alle Zyklen korrekt erkennt und auch Informationen über diese preisgibt. Im beschriebenen Algorithmus war es möglich, dass die Zusammenführung zweier Pfade als Zyklus erkannt wird, da der Knoten, der beide Pfade vereinigt, von beiden Vorgängern besucht wird. Dies wird verhindert, indem die zugehörigen Pfade anstelle der aktuellen Knoten abgespeichert werden. Weiterhin wurde in der Implementierung anstelle einer Liste eine Queue gewählt, da sich diese besser eignet, wenn in jedem Schritt das vorderste Element entfernt wird.

A.1.5 Auslagerung der Rechenphasen in einzelne Methoden

Während es im Entwurf implizit vorgesehen war, die Rechenphasen komplett im Konstruktor der Klasse `Netzplan` zu implementieren, wurden diese nun in einzelne private Methoden ausgelagert, die den Quelltext übersichtlich halten.

A.1.6 Verwendung von Queue statt Liste in den Rechenphasen und bei Berechnung der kritischen Pfade

Auch hier wird nun statt einer Liste eine Queue verwendet, um die aktuell zu bearbeitenden Knoten bzw. Pfade zu speichern. Diese Änderung wurde wieder aus dem Argument heraus durchgeführt, dass sich Queues besser eignen, wenn häufig das erste Element entfernt wird.

A.2 Änderungen in der Klasse Vorgang

A.2.1 Überschreiben der Methode `toString()`

Damit einzelne Vorgänge leichter ausgegeben werden können, wurde in der Klasse `Vorgang` die Methode `toString()` überschrieben. So ist jeder Vorgang in der Lage, sich selbst als String zu repräsentieren.

