

Praktikumsbericht am Konrad-Zuse-Zentrum für
Informationstechnik Berlin

Gerwin Gamrath

30. Januar 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Das Zuse Institut Berlin (ZIB)	1
3	Die FU KinderUni	3
4	Die ersten zwei Wochen	4
5	Das mathematische Problem	5
6	Die benötigten Programme	9
7	Die Anmelde- und Optimierungsphase	10
8	Nach der Optimierung	12
9	Eigene Bewertung des Praktikums	12

1 Einleitung

Dies ist der Bericht über das Praktikum am Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin (ZIB) von Gerwin Gamrath in der Zeit vom 8. August bis zum 7. September 2012.

Ich studiere Wirtschaftsmathematik an der TU Berlin seit dem Oktober 2009. Im Rahmen des Bachelorstudiums soll man laut Studienordnung ein mindestens vierwöchiges Praktikum in einem geeigneten Wirtschaftsunternehmen oder Betrieb der Datenverarbeitung absolvieren. Ich habe mich am Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin beworben, da ich dort meine mathematische Vertiefungsrichtung Algorithmische und Diskrete Mathematik (ADM) sinnvoll einsetzen und vertiefen wollte. In meinem einmonatigen Praktikum am ZIB hatte ich grundsätzlich eine 40-Stunden-Woche; das heißt, ich habe von Montag bis Freitag je 8 Stunden am ZIB gearbeitet. Jedoch wurde diese Regelung eher flexibel gehandhabt, da es abzusehen war, dass ich in einer gewissen Phase meines Praktikums (siehe Abschnitt 7: Die Anmelde- und Optimierungsphase) mehr als 8 Stunden pro Tag arbeiten würde.

In diesem Praktikumsbericht werde ich das Zuse Institut Berlin vorstellen, sowie meine Beweggründe für meine Bewerbung am ZIB darlegen. Anschließend werde ich die FU KinderUni, das Projekt, an dem ich gearbeitet habe, vorstellen. Nachdem ich dann meine Arbeit sowie deren mathematische Hintergründe erläutert habe und das Ergebnis meiner Praktikumstätigkeit präsentieren kann, werde ich eine eigene Bewertung des Praktikums abgeben. In diese werde ich letztlich auch den Nutzen des Praktikums für mich als auch für das ZIB und die FU KinderUni einfließen lassen.

2 Das Zuse Institut Berlin (ZIB)

Das Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin, oder auch Zuse-Institut Berlin (ZIB) ist eine außeruniversitäre Forschungseinrichtung des Landes Berlin und wurde 1984 gegründet. Das ZIB betreibt Forschung und Entwicklung im Bereich der Informationstechnik, besonders in der angewandten Mathematik und Informatik. So werden im ZIB mathematische Modelle analysiert, die aus dem Bereich der Technik, Ökonomie, Naturwissenschaft und Gesellschaft kommen. Für diese Modelle werden anschließend Algorithmen entwickelt, die damit verbundene Probleme lösen können. Außerdem werden diese Algorithmen umgesetzt, sodass man so die Probleme tatsächlich lösen kann und außerdem durch Studieren der Lösungen zu weiteren theoretischen Erkenntnissen gelangen kann. Somit gehen Theorie und Praxis am ZIB Hand in Hand und jedes der Gebiete unterstützt das jeweils andere. Das ZIB kooperiert neben wissenschaftlichen Einrichtungen auch mit Partnern aus den Bereichen Telekommunikation, Medizintechnik, Biotechnologie, Systembiologie, Öffentlicher Personennahverkehr, Transport und Logistik, Fahrzeugbau, Chemie-, Elektro- und Computerindustrie, Energieversorgung und Nano-Optik. So wurde zum Beispiel der öffentliche Nahverkehr der Stadt Potsdam am ZIB optimiert, es wird nach Algorithmen



Abbildung 1: Das Zuse-Institut Berlin

geforscht, die das komplexe Optimierungsproblem des Gastransports im Energiebereich lösen können und es wird ein Programm namens SCIP entwickelt, das eine große Anzahl an mathematischen Optimierungsproblemen lösen kann, unter anderem lineare Programme, gemischt ganzzahlige Programme und gemischt ganzzahlig nichtlineare Programme. Dieses Programm wurde auch von mir während des Praktikums oft benutzt.

Ich habe mich um das Praktikum am Zuse-Institut Berlin beworben, weil ich mir erhoffte, mein Wissen, das ich mir im Laufe meines Studiums – speziell in meiner mathematischen Vertiefung „Algorithmische Diskrete Mathematik“ (ADM 1 und ADM 2) – angeeignet habe, am ZIB anwenden zu können und bestenfalls dieses Wissen sogar noch weiter zu vertiefen. Die naheliegende Alternative beim Studium Wirtschaftsmathematik wäre es auch gewesen in eine Bank, ein Versicherungsunternehmen oder Ähnliches zu gehen, aber meine Vermutung war, dass ich dort in einem so kurzen Praktikum erstens nicht genügend höhere Mathematik benutzen würde und zweitens erst recht nicht das Wissen aus meinem Vertiefungsfach ADM einbringen könnte. Außerdem habe ich bisher nicht die Absicht später in der Finanzwirtschaft zu arbeiten, sondern an Projekten, die realwirtschaftliche Ergebnisse liefern. Hiermit möchte ich nicht unterstellen, dass dies in einer Bank garnicht gegeben wäre, aber von meinem subjektiven Eindruck trifft das eher auf Institute wie das ZIB zu als auf finanzwirtschaftliche Unternehmen. Das Gefühl vom „etwas (er)schaffen“ ist mir wichtig bei meiner Arbeit und auch beim Praktikum.

Da mein Bruder am ZIB arbeitet, hat er mir schon oft etwas über das Arbeiten am Zuse-Institut Berlin erzählt und so hat er mein Interesse geweckt. Außerdem erschien mir die Arbeitsatmosphäre als angenehm. Sehr reizvoll fand ich auch, dass das ZIB wie oben beschrieben an vielen Projekten aus der Wirtschaft teilnimmt und man so einen Erfolg am Ende sieht und man auch immer weiß, dass man seine Aufgabe nicht nur zum Selbstzweck macht, sondern sich mit etwas beschäftigt, das von Seiten der Partner aus der Wirtschaft wirklich nachgefragt wird. Ich kann mir gut vorstellen in dem Bereich Optimierung später zu arbeiten, sei es nun an einem wissenschaftlichen Institut wie dem ZIB oder einem Unternehmen in der Wirtschaft. Ich wollte daher das Praktikum nutzen, um zu erfahren, wie es wirklich ist einen solchen Beruf auszuüben. Somit erschien es mir sinnvoll mich direkt um einen Praktikumsplatz in der Abteilung Optimierung am ZIB zu bewerben. Ich schickte eine E-Mail mit einer Bewerbung an

Fach	Kursname	Uhrzeit ab	Montag, 3.9.2012					Dienstag, 4.9.2012					Mittwoch, 5.9.2012					Donnerstag, 6.9.2012					Freitag, 7.9.2012					Klasse	Haus	Adresse
			9	10	11	12	13	9	10	11	12	13	9	10	11	12	13	9	10	11	12	13	9	10	11	12	13			
Alter Orient	Wie schrieb man im alten Babylon?																										4.-5.	(2)	Hüttenweg 7	
Archäologie	Archäologie in Deiner Hand				11-13																							2.-6.	(13)	Altensteinstraße 15
Archäologie	Mumien			9-11	11.30-13.30																							3.-6.	(3)	Otto-v-Simson-Str. 26
Biologie	Die Welt der Ölpalme																											5.-6.	(13)	Unter den Eichen 5
Biologie	Honigbiene - beste Umweltschützerin			9-10.30	11-12.30																							2.-6.	(14)	Königin-Luise-Str. 1-3
Biologie	Karius, Baktus und Co. - Mikroben																											4.-6.	(12)	Königin-Luise-Str. 12-16
Biologie	Leben im Wassertropfen			9-11	11.30-13.30																							5.-6.	(14)	Königin-Luise-Str. 1-3
Biologie	Wir analysieren Honig			9-11	11.30-13.30																							5.-6.	(2)	Fabeckstraße 34-36
Biologie	Worüber unterhalten sich Tiere?			9.30-11																								2.-3.	(5)	Takustraße 6
Biologie (MPI MG)	Keep (it) cool																											2.-4.	(1)	Innestraße 63-73
Chemie	Chemie - wenn Gips farbig wird			9-11	11.30-13.30																							4.-6.	(4)	Fabeckstraße 34-36
Geologie	Was ist ein Kristall?																											2.-6.	(10)	Maltesserstraße 74-100
Informatik	Das Web vergisst nie																											6.	(7)	Takustraße 9
Informatik	Mobilfunknetz - was steckt dahinter?																											5.-6.	(7)	Takustraße 9
Mathematik	Von 2D zu 3D			10-11	11.30-																							3.-6.	(6)	Arnimallee 14
Medizin (Charité)	Narkosearzt und Pilot																											5.-6.	(9)	Hindenburgdamm 30
Medizin (Charité)	Schüler üben Wiederbelebung																											5.-6.	(9)	Hindenburgdamm 30
Meteorologie	Himmeldonnerwetter																											4.-6.	(15)	Schmidt-Ott-Str. 13
Physik	Einführungsexperimente			9.30-11	11.30-13																							5.-6.	(6)	Schwendenerstr. 1
Physik	Schwimmen, Schweben, Sinken			9-11	11.30-13.30																							5.-6.	(6)	Arnimallee 14

Abbildung 2: Der Kursplan der FU KinderUni 2012

den Abteilungsleiter im Bereich Optimierung Herrn Prof. Dr. Ralf Borndörfer. Dieser antwortete mir dann nach einer gewissen Zeit und schrieb, dass er noch Hilfe bei der Planung der FU KinderUni 2012 benötigt und schlug mir vor, dass ich das als Praktikumsstätigkeit übernehmen könne. Eine Woche später begann ich mein Praktikum an dem Zuse-Institut Berlin zum Thema „Zuteilung der FU KinderUni“.

3 Die FU KinderUni

Die FU KinderUni ist eine kostenlose Veranstaltung bei der sich Lehrer der Klassenstufen 2 bis 6 mit ihren Klassen für verschiedene Kurse aus dem Bereich der Natur- und Geisteswissenschaften anmelden können. Diese Kurse finden jedes Jahr im September statt und die FU KinderUni gibt es nun schon seit neun Jahren. Bei den Kursen können die Kinder selbst experimentieren, sollen Fragen stellen und sich wie richtige Wissenschaftler fühlen. Sie sollen dadurch an das wissenschaftliche Arbeiten herangeführt werden und es soll ihnen Lust auf mehr gemacht werden. So wurde dieses Jahr zum Beispiel ein Wassertropfen auf Leben untersucht, die Kinder konnten vieles über Mumien erfahren oder die Schüler übten sich an Wiederbelebungsmaßnahmen. In Abbildung 2 auf Seite 3 kann man den Kursplan der FU KinderUni 2012 sehen.

Da sich die FU KinderUni großer Beliebtheit erfreut, steigen die Anmeldezahlen von Jahr zu Jahr und somit gibt es trotz steigender Anzahl an Angeboten nie genügend Plätze für alle Bewerber. Eine gute gerechte – am besten in einem Sinne optimale Zuteilung – ist somit eine anspruchsvolle Aufgabe. Außerdem gibt es verschiedene Ziele bei der Optimierung: So kann es manchmal das Ziel sein eine maximale Anzahl an zugeteilten Schülern zu erreichen, in anderen Fällen eine maximale Anzahl an beteiligten Schulen, eine maximale Anzahl an neu-

en Schulen, eine „gute“ Mischung aus alledem oder noch etwas anderes. Um diese Zuteilung durch mathematische Methoden möglichst objektiv bewerkstelligen zu können bedient sich die FU seit einigen Jahren der Hilfe des Zuse-Institut Berlin. Es wurde ein Programm entwickelt, das die Optimierungsprobleme lösen kann und auch Analysemöglichkeiten der gelieferten Lösungen bietet.

4 Die ersten zwei Wochen

An meinem ersten Praktikumstag hat mich Herr Prof. Dr. Ralf Borndörfer sehr freundlich empfangen und mir erklärt was genau die FU KinderUni ist, was meine Aufgabe sein wird und wie ich mich in den nächsten Stunden einarbeiten kann. Da er mir schon vorher in E-Mails mitgeteilt hatte, was das Thema des Praktikums sein wird und mir erste Informationen (z.B. die Diplomarbeit von Biliانا Boeva¹) zukommen lassen hat, war ich gut vorbereitet und konnte relativ gut einschätzen, was auf mich zukommt. Im Anschluss bin ich in einen der Studentenräume gegangen, die das ZIB für studentische Hilfskräfte und Praktikanten bereitstellt und habe dort meinen ersten Kollegen getroffen, der mir auch direkt beim Einrichten meines Computers und meiner Arbeitsumgebung geholfen hat. Somit konnte ich mich weiter in die Materie der Zuteilung der FU KinderUni einlesen. Zum Abschluss des Tages kam noch einmal Prof. Dr. Ralf Borndörfer zu mir und hat sich erkundigt ob ich zurechtkomme und hat mir das für die Optimierung zuständige Programm „KUniKIP“ in Aktion gezeigt mit Daten vergangener Jahre. Von daher war der erste Tag des Praktikums ein interessanter Anfang und ich wusste nun, welche konkreten Aufgaben ich haben werde. In den nächsten Tagen sollte ich mich erst einmal mit dem KUniKIP Programm vertraut machen, um es zu verstehen und es dann benutzen und später auch verändern zu können. Da ich bisher nur Erfahrung mit den Programmiersprachen Java und Python gesammelt habe, war es eine Herausforderung das Programm, das in Perl und Shell-Skript programmiert war, zu durchdringen. Aber nach kurzer Eingewöhnungszeit habe ich immer mehr Teile des Ganzen verstanden. Außerdem habe ich mir die Eingabedaten vergangener Jahre in Form von Textdateien genauer angesehen. Darunter sind zum Beispiel die von der FU angebotenen Kurse und Termine, die Schulen, die sich möglicherweise anmelden werden, Anmeldeinformationen zu den jeweils vergangenen Jahren und letztlich auch die tatsächlichen Anmeldungen der Klassen zu speziellen Terminen des jeweiligen Jahres.

Nachdem ich einen guten Überblick über KUniKIP erhalten hatte, fing ich damit an erste Teile zu verändern und mich auf Fehlersuche zu begeben. In dieser Zeit führte Herr Prof. Dr. Borndörfer in der Regel am Nachmittag ein Gespräch mit mir, in dem wir in lockerer Atmosphäre den Fortschritt meiner Tätigkeiten besprachen sowie Fragen geklärt haben, die sich mir während meiner Arbeit gestellt haben. Auch half er mir gerne bei Problemen. Diese Treffen waren – besonders zum Anfang – sehr hilfreich.

Etwa eine Woche bevor die Anmeldung zur KinderUni anfang, und somit

¹Veranstaltungsplanung mit Multiple-Knapsack-Methoden von Biliانا Boeva, 2008

auch die Optimierung, war ich gut eingearbeitet in das Programm, die verschiedenen Unterprogramme und die Input-Daten. Ich nahm nun Kontakt zu Professor Wieland Weiß auf, der die FU KinderUni organisiert und für den (und mit dem) wir die Optimierung machen. Anfangs haben wir uns per E-Mail ausgetauscht und er hat so einige Verbesserungen des Programms vorgeschlagen, die wir dann besprochen haben und von denen ich dann jene in das Programm eingebaut habe, die wir gemeinsam als sinnvoll empfanden. Da sich jedoch viele Fragen besser klären lassen, wenn man sich trifft und nicht nur E-Mails schreibt, kam Herr Weiß in der Woche vor der Anmeldung zu mir ans ZIB und wir sind diese Probleme und Fragen genau durchgegangen. Außerdem habe ich ihm das KUniKIP Programm gezeigt. Dann zeigte er mir das System, mit dem er unseren Zuteilungsvorschlag auswählen kann und bei Bedarf noch Zuteilungen per Hand ändern kann. Dies wurde unter anderem später bei der Zuteilung wichtig, da sich noch einige wenige Lehrer im Nachhinein abgemeldet haben oder sich falsch angemeldet haben. Auf jeden Fall war dieses Treffen sehr erhellend und wir haben wiederum ein paar konkrete Verbesserungsvorschläge entwickelt. Auch dass jetzt jeder eine Vorstellung davon hatte, mit was und wie der andere arbeitet und welche Möglichkeiten das Programm bzw. System des anderen hatte, hat zur besseren Zusammenarbeit beigetragen. Die entwickelten Verbesserungsvorschläge habe ich anschließend in das Programm eingebaut.

5 Das mathematische Problem

Doch bevor ich erläutere wie die Optimierung ablief, erkläre ich ersteinmal, was es überhaupt zu optimieren gab. Das Optimierungsproblem der Zuteilung bei der FU KinderUni ist ein sogenanntes Multiple-Knapsack-Problem (MKP), bei dem es darum geht mehrere Rucksäcke möglichst voll zu packen. Das Multiple-Knapsack-Problem ist ein NP-vollständiges Problem, sodass es wahrscheinlich keinen effizienten Lösungsalgorithmus gibt. Schauen wir uns erst einmal einen Spezialfall eines MKP an:

5.1 Das Single-Knapsack-Problem

Formal wird das Single-Knapsack-Problem (SKP) so charakterisiert:

Input	n	Gegenstände
	1	Rucksack
	p_i	Profit des Gegenstands i
	w_i	Gewicht des Gegenstands i
	c	Gewichtskapazität des Rucksacks
Gesucht		Teilmenge der Gegenständen deren Gesamtgewicht nicht die Gewichtskapazität c des Rucksacks überschreitet und gleichzeitig den Gesamtprofit maximiert

Das ganzzahlige Programm (auch IP, integer program) lautet:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Maximize} & \sum_{i=0}^n p_i x_i \\
 \text{s.t.} & \sum_{i=0}^n w_i x_i \leq c \\
 & x_i \in \{0, 1\} \quad i = 1, \dots, n
 \end{array} \tag{SKP}$$

Es sei angemerkt, dass man einen Gegenstand entweder ganz ($x_i = 1$) oder gar nicht ($x_i = 0$) in den Rucksack packen kann, man kann also Gegenstände nicht zerteilen, um sie in den Rucksack zu packen.

Als Anschauung kann man sich einen Dieb vorstellen, der in eine Wohnung einbricht und einen Rucksack für die Beute dabei hat. Jeder Gegenstand in der Wohnung hat einen gewissen Wert (Profit) p_i und gleichzeitig ein gewisses Gewicht w_i (oder auch Volumen). Außerdem kann der Dieb nur begrenzt viel Gewicht c (oder Volumen) in den Rucksack packen. Der Dieb möchte natürlich die Sachen aus der Wohnung mitnehmen, die seinen Gesamtprofit maximieren.

5.2 Multiple-Knapsack-Problem

Die Zuteilung der FU KinderUni wird im weiteren als ein Multiple-Knapsack-Problem (MKP) betrachtet. Es ist eine Verallgemeinerung des SKP und der Unterschied ist im Wesentlichen, dass es nun nicht nur einen Rucksack gibt, sondern mehrere Rucksäcke.

Dieses wird wie folgt charakterisiert:

Input	n	Gegenstände
	m	Rucksäcke
	p_i	Profit des Gegenstands i
	w_i	Gewicht des Gegenstands i
	c_j	Gewichtskapazität des Rucksacks j
Gesucht		Eine Teilmenge von Gegenständen deren Gesamtprofit maximal ist, so dass die Kapazität der Gegenstände in jedem Rucksack j dessen Kapazität c_j nicht übersteigt

Das MKP kann auch als IP formuliert werden:

$$\begin{aligned}
\text{Maximize} \quad & \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m p_i x_{ij} \\
\text{s.t.} \quad & \sum_{i=0}^n w_i x_{ij} \leq c_j \quad j = 1, \dots, m \\
& \sum_{j=0}^m x_{ij} \leq 1 \quad i = 1, \dots, n \\
& x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m
\end{aligned} \tag{MKP}$$

Hierbei bedeutet $x_{ij} = 1$, dass Gegenstand i in Rucksack j gepackt wurde. Sonst ist $x_{ij} = 0$. Die zweite Ungleichung stellt sicher, dass ein Gegenstand nicht in mehrere Rucksäcke gepackt wird.

5.3 Das KIP-Modell

Wie bereits erwähnt, wird das Zuteilungsproblem für die FU KinderUni als MKP betrachtet. Hierbei werden die verfügbaren Termine als Rucksäcke gewählt und die Klassen als Gegenstände mit der Klassengröße als Gewicht. Außerdem gibt es natürlich weitaus mehr Nebenbedingungen unter denen die Zielfunktion optimiert wird. Auch ist das IP-Modell der KinderUni (ab jetzt KIP-Modell) ein multikriterielles Optimierungsproblem, da es verschiedene Kriterien in der Zielfunktion gibt, z.B. maximale Anzahl an Schülern, maximale Anzahl an Schulen oder maximale Anzahl an belegten Terminen. Somit ist das KIP-Modell komplexer als ein normales MKP und um den Rahmen hier nicht zu sprengen beschränke ich mich bei der folgenden Darstellung auf die wichtigsten Teile des KIP-Modells. Für eine in manchen Teilen genauere (aber auch nicht mehr aktuelle!) Ausführung verweise ich auf die Diplomarbeit von Biliana Boeva².

5.3.1 Notationen

- Menge der Klassen $I = \{1, \dots, n\}$
- Menge der Termine $J = \{1, \dots, m\}$
- Menge der Anmeldungen A , wobei eine Anmeldung eindeutig durch eine Klasse i und einen Termin j definiert ist
- Menge der Schulen S
- Menge der Schulen S_{new} , die nicht in den letzten zwei Jahren teilgenommen haben
- Menge der Schulen S^* , die sich in den letzten zwei Jahren vergeblich angemeldet haben

²Veranstaltungsplanung mit Multiple-Knapsack-Methoden von Biliana Boeva, 2008

- verfügbare Kapazität c_j für Termin j
- angemeldete Klassengröße w_{ij} von Klasse i zu Termin j
- Menge der Labortermine L (nur maximal eine Klasse kann pro Labortermin teilnehmen)
- $S(i)$ ist die Schule von Klasse i an
- $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \tau$ Parameter für Gewichtung der Zielfunktion (Anzahl Schüler, neue Schulen, Schulen, Klassen, Termine, Schulen in S^*)

5.3.2 Das KIP-Modell

$$\text{Maximize } \alpha \sum_{(i,j) \in A} w_{ij}x_{ij} + \beta \sum_{s \in S_{new}} y_s + \gamma \sum_{s \in S} y_s + \delta \sum_{(i,j) \in A} x_{ij} + \epsilon \sum_{j \in J} z_j + \tau \sum_{s \in S^*} y_s$$

$$\text{s.t. } \sum_{(i,j) \in A} x_{ij} \leq 1 \quad i \in I \quad (1)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} w_{ij}x_{ij} \leq c_j \quad j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} x_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in L \quad (3)$$

$$\sum_{(i,j) \in A, S(i)=s} x_{ij} \geq y_s \quad \forall s \in S \quad (4) \quad (\text{KIP})$$

$$x_{ij} \leq z_j \quad \forall (i,j) \in A \quad (5)$$

$$\sum_{(i,j) \in A} x_{ij} \geq z_j \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i,j) \in A \quad (7)$$

$$y_s \in \{0, 1\} \quad \forall s \in S \quad (8)$$

$$z_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (9)$$

- (1) Jede Klasse soll maximal einem Termin zugewiesen werden.
- (2) Die verfügbaren Kapazitäten werden berücksichtigt.
- (3) Labortermine werden mit maximal einer Klasse besetzt.
- (4) Schule nimmt teil, wenn mindestens eine Klasse dieser Schule teilnimmt.
- (5) Lasse den Termin stattfinden, wenn mindestens eine Klasse an ihm teilnimmt.
- (6) Wenn keine Klasse an einem Termin teilnimmt, findet dieser nicht statt.
- (7) $x_{ij} = 1$: Anmeldung der Klasse i zu Termin j wird angenommen, sonst 0.

(8) $y_s = 1$: Schule s nimmt teil, sonst 0.

(9) $z_j = 1$: Termin j findet statt, sonst 0.

Außerdem gibt es in dem KUniKIP-Programm noch Bedingungen, die sicherstellen, dass an einem Termin nur Klassen einer Klassenstufe teilnehmen können (um zu dem Termin besser auf den jeweiligen Wissensstand und auf das Alter eingehen zu können). Daneben gibt es für jeden Kurs eine Ober- und Untergrenze für die zulässige Klassenstufe, da manche anspruchsvolleren Kurse nur für fünfte oder sechste Klassen angebracht sind, andere sind für die jüngeren Schüler vorgesehen. In der Zielfunktion kann man die Parameter für die Gewichtung der Zielfunktion wählen. So ist es in allen von uns betrachteten Fällen von oberster Priorität, dass Schulen genommen werden, die sich in den letzten beiden Jahren vergeblich angemeldet haben und sich nun zum dritten Mal in Folge anmelden. Dies soll die Frustration innerhalb einer Schule gering halten, da man sonst Gefahr läuft, dass sich eine Schule nicht mehr anmeldet, da sie „ja eh nie genommen wird“. Somit wurde dieser Parameter immer groß gewählt, um diesen Schulen zu mehr Gewicht zu verhelfen. Die anderen Parameter wurden je nach Optimierungslauf verschieden gewählt: So wird im „normalen“ Lauf die Schüleranzahl maximiert, also der zugehörige Parameter relativ groß gewählt, die restlichen klein. Es wird aber auch nach den anderen Kriterien optimiert, um auf wenige Blicke die jeweils besten Lösungen zu sehen, je nachdem welches Kriterium uns am Ende am wichtigsten erscheint.

6 Die benötigten Programme

Mithilfe der vom Zuse-Institut entwickelten Modelliersprache Zimpl³ kann das KIP-Modell als *.zpl* Datei erstellt werden und anschließend in ein gemischt-ganzzahliges Programm (mixed-integer program, auch MIP) im *.lp* Format übersetzt werden. Dieses Format kann von MIP-Solvern gelesen werden. Ich habe als Solver SCIP⁴ benutzt. SCIP wurde vom Zuse-Institut entwickelt und wird stetig verbessert und erweitert. So ist SCIP nicht nur einer der schnellsten nichtkommerziellen MIP-Solver sondern auch Framework für constraint integer programming und branch-cut-and-price. SCIP liest das Problem im *.lp* Format ein und berechnet mathematisch korrekt die in Abhängigkeit der Zielfunktion beste Lösung. Diese Lösung gibt dann an, welche x_{ij} , y_s und z_j jeweils 0 oder 1 sind. Am Beispiel der x_{ij} gibt uns die Lösung nun an, ob eine Anmeldung der Klasse i zu Termin j angenommen wird ($x_{ij} = 1$) oder abgelehnt wird ($x_{ij} = 0$). Man sieht, dass für jeden Optimierungslauf in Abhängigkeit der Parameter der speziellen Kriterien, das Problem von Grund auf neu gelöst wird. Herr Prof. Dr. Borndörfer und ich haben uns eine Verbesserung überlegt, bei der die Informationen der vorherigen Optimierungsläufe genutzt werden, um schneller auf die Optimallösungen zu kommen. So liegt anschaulich gesprochen die Optimallösung bezüglich der maximalen Anzahl der Klassen näher an der

³<http://zimpl.zib.de/>

⁴<http://scip.zib.de/>

Optimallösung bezüglich maximaler Schüleranzahl als eine vollkommen beliebige Startlösung. Da dies zurzeit noch nicht ausgenutzt wird, wollen wir diese Erkenntnis in Zukunft nutzen um KUniKIP so noch schneller zu machen. Ein kompletter Optimierungslauf inklusive Einlesen der Dateien, Erstellen und Lösen der Probleme in Abhängigkeit der Zielfunktion (maximale Anzahl Schüler, maximale Anzahl Klassen ...), Gap-Analyse und Sensitivitätsanalyse (siehe beides unten) und Ausgabe der Ergebnisse dauerte etwa sieben Minuten. Einen Großteil dieser Zeit machten Gap-Analyse und Sensitivitätsanalyse aus. Das Modellieren, Benutzen, Verstehen und Interpretieren dieser Programme hat eine essentielle Rolle meiner Tätigkeit im Praktikum gespielt. Benutzer eines Unix Systems mit installiertem Zimpl und SCIP können das Programm KUniKIP unter <http://www.zib.de/borndoerfer/kuni/> herunterladen und so – wenn auch vielleicht nur aus Spaß – ihre eigene KinderUni optimal zuteilen.

7 Die Anmelde- und Optimierungsphase

Am 21. August 2012 begann dann die Anmeldung. Die Lehrer konnten ihre Klassen für die Kurse auf der Webseite der FU KinderUni (<http://fukinderuni.de/>) anmelden. Der Anmeldezeitraum war der 21. und 22. August 2012. Bereits am Abend des 21. hatten wir viele Anmeldungen, mit denen ich erste Testläufe gemacht habe, um erstens eventuelle Fehler im Programm frühzeitig zu finden, zweitens Ungereimtheiten in den Input-Daten zu erkennen, um diese zu hinterfragen und drittens um einen ersten Eindruck von der Zuteilung zu erhalten. Glücklicherweise gab es zu diesem Zeitpunkt keine Fehler mehr im Programm und auch die Input-Daten waren sauber. Die Zuteilung war jedoch noch nicht so schön wie erhofft, da viele Kurse nicht belegt waren, aber dies sollte sich zum Glück (und Dank viel Arbeit) noch ändern! Leider war gleichzeitig zur Anmelde- und Optimierungsphase die ISMP (eine große mathematische Konferenz zum Thema Optimierung), die in der TU Berlin stattfand. Prof. Dr. Ralf Borndörfer betreute die ISMP, sodass er die ganze Woche über in der TU Berlin war und ich nun weitestgehend auf mich allein gestellt war. Das war jedoch kein Problem, da wir alles gut vorbereitet hatten, sodass so gut wie keine Probleme mehr auftraten. Außerdem rief er mich meist gegen Abend an, um sich zu erkundigen, wie die Zuteilung läuft. Am Abend des 22. August hatten wir dann alle Anmeldungen zusammen, jedoch waren immernoch 22 Termine (nach der Optimierung) der KinderUni nicht belegt und nun zahlte sich die Vorarbeit aus: Das KUniKIP Programm hat eine Sensitivitätsanalyse zur Terminkapazität der Kurse. Das Programm hat uns also Vorschläge gemacht, welche Kurse man in der Kapazität ein wenig erhöhen sollte, um dadurch z.B. gleich eine ganze zusätzliche Klasse in den Kurs zu bekommen. Als leichtes Beispiel nenne ich einen Kurs, der eine Kapazität von 30 hat und für den sich zwei Klassen der Größe 16 anmelden. Dann würde uns KUniKIP eine Kapazitätserhöhung um 2 vorschlagen mit einem Zuwachs von 16 neuen Schülern bzw. 8 Schülern pro Kapazitätserhöhung um eine Einheit. Solch eine Kapazitätserhöhung musste Herr Weiß jedoch erst mit seinen Kollegen abklären, die den betreffenden Kurs hiel-

ten. Man kann sich vorstellen, dass dies eine große Herumtelefoniererei war, da einige Kollegen im Urlaub waren etc. Zusätzlich zu dieser „Nachoptimierung“ fragte Herr Weiß gezielt bei einigen Lehrern an, ob sie denn noch in freie Kurse wollen. Während dieser Prozesse gab es also immer wieder neue Input-Daten und ich habe diese verwendet, das Programm laufen lassen und dann geschaut, ob und welche Verbesserungen es gab. Am Abend des 23. August war die Optimierung nun abgeschlossen und es gab ein hervorragendes Ergebnis:

Zugeordnete Terminkapazität:	2379	von	2805	=	84.81%
Zugeordnete Schüler:	2379	von	3634	=	65.47%
Zugeordnete Klassen:	104	von	161	=	64.60%
Zugeordnete Schulen:	63	von	88	=	71.60%
Zugeordnete Schulen aus S*:	0	von	0	=	100.00%
Zugeordnete Bezirke:	12	von	12	=	100.00%
Zugeordnete Termine:	94	von	95	=	98.95%
Nicht belegte Termine:	1!				
Anzahl neue Schulen:	31				
Nichtzuordbare Terminkapazität (Gap):	327				
Zuordbare Terminkapazität (Gap):	2478				
Zugeordnete Terminkapazität (Gap):	2379	von	2478	=	96.00%

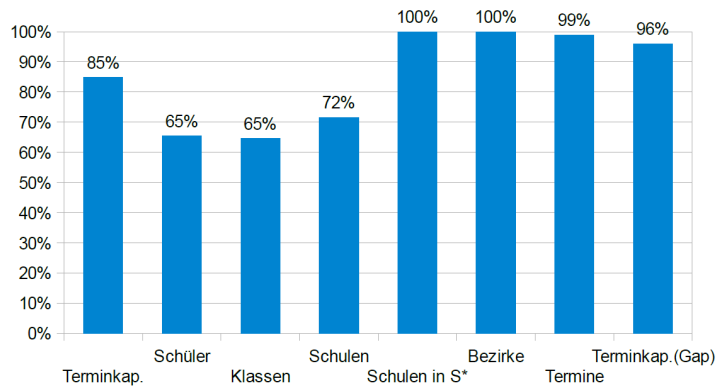


Abbildung 3: Die Zuteilung

Von anfänglich 22 nicht belegten Terminen ist nur einer übrig geblieben. Und all das dank der Sensitivitätsanalyse von KUniKIP und der Telefonarbeit von Herrn Weiß! Das auf den ersten Blick nicht sonderlich überragende Ergebnis von 84,8% zugeordneter Terminkapazität ist doch sehr gut, wenn man die sogenannte Gap-Analyse betrachtet. Bei ihr wird versucht jeden Termin für sich so gut wie möglich zu füllen, unabhängig von den anderen Terminen. So kann eine Klasse zum Beispiel bei der Gap-Analyse mehreren Kursen zugeteilt werden, die sogar eventuell zur gleichen Zeit stattfinden. Wenn man die nichtzuordbare

Terminkapazität aller Termine aufsummiert ergibt sich der sogenannte Gap. Als leichtes Beispiel sei ein Termin genannt, bei dem sich 5 Klassen mit jeweiliger Klassengröße von 20 anmelden. Die Terminkapazität sei 35. Dann wird man die 15 freien Plätze in keinem Fall belegen können. Somit entsteht ein Gap von 15 in diesem Termin. Selbst unter relaxierten Bedingungen können diese Plätze nie belegt werden. Die sogenannte „zuordnbare Terminkapazität“ (gesamte Terminkapazität – Gap) gibt daher eine obere Schranke für die zugeordnete Terminkapazität an. Wenn man sich bezüglich dieser Größe eine zugeordnete Terminkapazität von 96% ansieht, dann ist das schon um einiges überzeugender.

8 Nach der Optimierung

Nachdem die Optimierung abgeschlossen war, machte ich mich daran das Programm „schöner“ zu gestalten. So wurde in den vergangenen Jahren – aber auch in diesem Jahr – viel Programmcode stückweise hinzugefügt, sodass das Programm einem Flickenteppich glich, das zwar gut funktionierte, aber über die Jahre hin unübersichtlich wurde. Dies liegt unter anderem daran, dass man noch kurz vor der Anmelde- und Optimierungsphase Änderungen vornehmen musste, aber auf keinen Fall das funktionierende Programm kaputt machen wollte, sodass man vorsichtige „Anbauten“ in das Programm hineinschrieb, anstatt (was eigentlich sauberer wäre) die Struktur an der ein oder anderen Stelle zu verändern. Da nun aber die Optimierung abgeschlossen war, wagte ich die Struktur an gewissen Stellen zu verändern, um den Programmcode übersichtlicher und das Programm in sich schlüssiger zu gestalten. Um sicher zu gehen habe ich die Version, die die Optimierung gemacht hat, gesichert, sodass ich im Notfall immer wieder auf diese Version zurückgreifen hätte können und auch einen Vergleich zu der neuen - hoffentlich besseren - Version hatte. Außerdem war die Dokumentation des Programms über die Jahre unvollständig oder teilweise auch schlichtweg falsch, sodass ich diese überarbeiten und an das neue Programm anpassen musste. Wie ich bereits oben erwähnt hatte, war das Programm auch in verschiedenen Programmiersprachen geschrieben (Perl, Shell, Zimpl), sodass ich es als nützlich empfand wenigstens eine Sprache weniger zu benutzen. Um das zu erreichen schrieb ich die Teile, die in Shell-Skript geschrieben waren, in Perl um. Nun ist es erstens übersichtlicher und zweitens auch nicht mehr an Shell-Skripte gebunden. Insgesamt hat diese Arbeit noch einmal erstaunlich viel Zeit gekostet, jedoch habe ich dadurch das Programm noch besser kennengelernt und ich hoffe, dass zukünftigen Benutzern es nun auch leichter fällt das Programm zu benutzen oder sogar weiterzuentwickeln.

9 Eigene Bewertung des Praktikums

Bei diesem Praktikum habe ich einen guten Einblick in das Arbeiten an einem Institut, speziell am Zuse-Institut Berlin, erhalten. Ich konnte meine Kenntnisse im Bereich der kombinatorischen Optimierung und Softwareentwicklung vertiefen und in der Praxis anwenden. Dadurch wurde ich mit Problemen konfrontiert,

auf die man im Mathematikstudium selber nicht vorbereitet wird. So sah man zum Beispiel, dass hinter jeder Optimierung auch noch viel handwerkliche Arbeit steckt. So hat zum Beispiel der eigentliche Optimierungslauf von KUniKIP nur wenige Minuten gedauert, aber die Vorarbeit und Auswertung eines jeden Optimierungslaufs hat ein Vielfaches dieser Zeit in Anspruch genommen.

Die Zusammenarbeit mit Herrn Weiß war sehr produktiv und wir sind damit beide äußerst zufrieden. Daher sind wir gerade im Gespräch darüber, wie wir diese Zusammenarbeit fortführen können. So haben wir noch einige Ideen, wie man das Programm weiter verbessern kann, indem man es besser in die Anmeldung auf der Homepage der FU KinderUni integriert und neue Funktionen hinzufügt. Dies sind jedoch Arbeiten, die sehr umfangreich sind und genauere Planung benötigen. Außerdem haben schon andere Universitäten Interesse an dem Programm und Anmeldesystem bekundet. Dies zeigt, dass sich die Güte der FU KinderUni und auch der Anmeldungssoftware herumgesprochen hat. Sogar eine Universität aus Griechenland ist sehr interessiert an den Programmen, der Bedienung dieser und dem Know-How des Organisierens einer KinderUni.

Bei meinem weiteren Studium habe ich nun des Öfteren mit dem Knapsackproblem, Integer Programs und mit Optimierungssoftware zu tun und kann dies nun immer mit meinen Erfahrungen aus dem Praktikum vergleichen und weiß aus eigener Erfahrung, dass all diese Dinge im Arbeitsalltag eines Mathematikers (im Bereich Optimierung) wirklich eine Rolle spielen. Dies motiviert mich mit Hinsicht auf meinen späteren Beruf umso mehr, jene Sachen auch in der Universität gut zu lernen.

Ich wurde sehr nett empfangen, habe viele nette Leute kennengelernt und wenn ich Probleme hatte, haben mir Kollegen gerne geholfen. Insbesondere Prof. Dr. Ralf Borndörfer hat sich äußerst gut um mich gekümmert und hat sich trotz eines vollen Terminplans stets Zeit für mich genommen, um über den Zuteilungsprozess zu reden. Ich kann mir daher durchaus vorstellen später am ZIB zu arbeiten; sei es als Werkstudent oder nach meinem Master. Mir hat der mathematisch, informatische Bezug sehr gut gefallen und kann nun stolz darauf sein, einer der Hauptverantwortlichen für die erfolgreiche Zuteilung der FU KinderUni 2012 zu sein. Ich hätte durchaus Interesse daran, das Programm weiter zu entwickeln, um es dann zu der nächsten FU KinderUni 2013 wieder verwenden zu können.