

**Entwicklung eines Planungssystems zur  
Erstellung von Stundenplänen an  
allgemeinbildenden Schulen Deutschlands**

Von der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der  
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Wirtschaftswissenschaften  
- Doctor rerum politicarum -

genehmigte Dissertation

von

Diplom-Kaufmann Christian Wöllenstein

geboren am 24. November 1978 in Leverkusen

2010

Referent: Professor Dr. Stefan Helber  
Korreferent: Professor Dr. Stephan Lengsfeld  
Tag der Promotion: 29. Januar 2010

---

## Zusammenfassung

---

In dieser Arbeit wird das Problem der Erstellung von Stundenplänen an allgemeinbildenden Schulen Deutschlands untersucht. Die Betrachtung des Problems wird dabei allerdings nicht auf die bloße Verteilung des Unterrichts auf Schüler, Lehrer, Unterrichtsräume und Zeit reduziert. Vielmehr wird berücksichtigt, dass jede Schule über völlig individuelle Charakteristiken verfügt, die dazu führen, dass jeder Prozess der Stundenplangestaltung einzigartig ist. An das vorgeschlagene Planungssystem werden daher drei Anforderungen formuliert.

Es muss so offen und frei gestaltet sein, dass das Planungsproblem einer Schule exakt abgebildet werden kann. Darüber hinaus muss es leicht erweiterbar sein, um bspw. zukünftigen Schulreformen Rechnung tragen zu können. Letztlich muss es das Planungssystem ermöglichen, in einer angemessenen Zeit akzeptable Stundenpläne zu erstellen.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wird ein Lösungsansatz vorgeschlagen, in dessen Zentrum ein mathematisches Modell steht. Hierin werden nur die Zeit, Unterrichtsräume, Lehrveranstaltungen, Abhängigkeiten zwischen Lehrveranstaltungen und Nebenbedingungen zu deren Einplanung abgebildet. Diese sehr allgemeine Formulierung ermöglicht die präzise Modellierung eines individuellen Planungsproblems einer allgemeinbildenden Schule Deutschlands.

Zur Lösung der Modelle wird der Branch-and-Bound-Algorithmus verwendet. Hierbei handelt es sich um ein Optimalplanungsverfahren mit Konvergenzgarantie. Das bedeutet, dass garantiert eine optimale Lösung gefunden wird, sofern eine existiert.

Aufgrund der Komplexität und Größe eines typischen Stundenplanproblems ist es momentan noch nicht möglich, dieses in angemessener Rechenzeit im Ganzen zu lösen. Daher wird das Problem in zwei Teilprobleme unterteilt.

Zuerst ist das Problem der Verteilung der Lehrveranstaltungen zu lösen. Es muss bspw. festgelegt werden, welche Lehrveranstaltungen zu unterrichten sind und welche Abhängigkeiten zwischen den Lehrveranstaltungen bestehen.

Im Anschluss muss das Problem der Verteilung der Lehrveranstaltungen

gelöst werden. Das Ziel ist hierbei, die Lehrveranstaltungen einem Zeitraum und einem Unterrichtsraum zuzuordnen. Leider ist auch dieses Problem für moderne PCs zu groß und komplex, um in angemessener Rechenzeit Stundenpläne zu erstellen. Daher wird dieses Teilproblem in eine Grob- und eine Feinplanung dekomponiert.

Das Planungssystem wird erprobt anhand von 40 Testinstanzen. Diese wurden nach realen Vorgaben des statistischen Bundesamts und des Schulministeriums NRW gebildet. Für fast alle Testinstanzen können in angemessener Rechenzeit nahezu optimale Stundenpläne erstellt werden.

**Schlagwörter:** Stundenplanerstellung, Allgemeinbildende Schulen, Gemischt-ganzzahlige Programmierung

---

# Abstract

---

This thesis examines the problem of setting timetables at German public schools. The challenge is not to reduce the problem to mere assignments of the lessons to students, teachers, classrooms and time slots, but to consider also the different characteristics of every school. These characteristics have such a strong impact on the generated timetables, that each planning process is unique for any school.

Hence there are three requirements for the introduced planning system. Firstly, it has to be open enough as to allow the exact display of the timetabling problem of a school. Then it has to be easy to expand in order to allow for possible future changes, for example in the German school system. And finally it has to permit the generation of acceptable timetables in an adequate time.

In order to meet these requirements an approach based on a mixed-integer model is suggested. Herein only the parameters time slots, classrooms, lessons and dependencies between lessons and their subsidiary conditions are being displayed so as to be considered for the planning of timetables.

This very universal approach enables a precise modelling of an individual timetabling problem of a German public school. For the solution of the models the approach uses the Branch-and-Bound-algorithm. It guarantees the finding of an optimal solution, provided that there exists one.

Due to the complexity and size of a typical timetabling problem it is not yet possible to be solved on the whole in an adequate calculating time. Therefore the main problem is divided into two subproblems.

Firstly the problem of the distribution of lessons has to be solved. Here, for example, the mandatory lessons and the dependencies between them have to be established. The next step is to solve the problem of the distribution of these specific lessons. Here the goal is to allocate the lessons to a time slot and a classroom. Unfortunately this problem also is still too complex to be solved by modern PCs in adequate calculation times. Therefore this subproblem is decomposed into a rough planning and a detailed planning.

The planning system is proved in 40 test-entities. These were established following actual demands of the Federal Statistical Office of Germany and the school administration of North-Rhine-Westfalia. Close-to-optimum-timetables can be generated in adequate calculating times for almost all test-entities.

**Keywords:** Academic timetabling, course scheduling, mixed-integer programming

---

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xiii</b>
<b>Algorithmenverzeichnis</b>	<b>xix</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Kennzeichnung des Problems der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen</b>	<b>5</b>
<b>3 Praxisrelevante Aspekte und Ansätze zur Lösung des Problems</b>	<b>13</b>
3.1 Eine fiktive Schule zur beispielhaften Erläuterung der Problemstellung . . . . .	13
3.2 Überblick über kommerzielle Stundenplan-Software und über bisherige Lösungsansätze für das Problem in der Literatur . . .	14
3.3 Aspekte der Modellierung des Problems . . . . .	16
3.3.1 Aspekte der Modellierung der Unterrichtstage und der Schulstunden eines Unterrichtstags . . . . .	16
3.3.2 Aspekte der Modellierung der Pausen . . . . .	17
3.3.3 Aspekte der Modellierung der Unterrichtsräume . . . . .	19
3.3.4 Aspekte der Modellierung der Lehrveranstaltungen . . .	23
3.3.5 Aspekte der Modellierung der Abhängigkeiten zwischen Lehrveranstaltungen durch abstrakte Bezugsgruppen . .	30
3.3.6 Aspekte zur Modellierung von Nebenbedingungen der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen .	44

3.3.6.1	Übersicht über Typen von Nebenbedingungen aus Modellansätzen der Literatur und aus kommerziellen Softwareprodukten, die in dem in dieser Arbeit vorgestellten Modell nicht abgebildet werden . . . . .	44
3.3.6.2	Die Formulierung der Nebenbedingungen als weiche Restriktionen . . . . .	46
3.4	Ein Verfahren zur Lösung des Problems mit Hilfe einer hierarchischen Dekompositionsstrategie . . . . .	48
3.4.1	Überblick über Dekompositionsstrategien in der Literatur	48
3.4.2	Beschreibung der in dieser Arbeit untersuchten hierarchischen Dekompositionsstrategie . . . . .	52
3.5	Lösung der Modelle des dekomponierten Problems mit Methoden der gemischt-ganzzahligen linearen Programmierung . . . . .	62
<b>4</b>	<b>Mathematische Modellierung des Problems</b>	<b>67</b>
4.1	Beschreibung der in den Teilmodellen verwendeten Notation . . . . .	67
4.2	Annahmen zum Wochenmodell . . . . .	70
4.3	Mathematische Formulierung des Wochenmodells . . . . .	72
4.3.1	Zielfunktion des Wochenmodells . . . . .	72
4.3.2	Nebenbedingungen zur Kapazität der Raumtypen . . . . .	72
4.3.3	Nebenbedingungen zur Einplanung der Lehrveranstaltungen . . . . .	74
4.3.3.1	Alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen vollständig eingeplant werden . . . . .	74
4.3.3.2	Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt an einem bestimmten Unterrichtstag stattfinden . . . . .	74
4.3.3.3	Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt zu einer bestimmten Schulstunde stattfinden . . . . .	76
4.3.3.4	Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt in einem bestimmten Raumtyp stattfinden . . . . .	77
4.3.3.5	Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen nicht bestimmten Kombinationen aus Zeitraum und Unterrichtsraum zugeordnet werden . . . . .	78
4.3.4	Nebenbedingungen zur Einplanung der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppen . . . . .	79
4.3.4.1	Es soll mehr als eine Lehrveranstaltung einer Bezugsgruppe zu einem Zeitraum stattfinden . . . . .	79

## Inhaltsverzeichnis

4.3.4.2	Die Anzahl der gleichzeitig stattfindenden Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe soll nach oben bzw. unten beschränkt werden . . . . .	82
4.3.4.3	Nebenbedingungen zur Berechnung der binären Variablen $zBT_{bt}$ , die bemisst, ob mindestens eine Lehrveranstaltung einer Bezugsgruppe an einem bestimmten Unterrichtstag eingeplant ist . . . . .	86
4.3.4.4	Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an mehr als einer bestimmten Anzahl an Unterrichtstagen stattfinden . . . . .	87
4.3.4.5	Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an weniger als einer bestimmten Anzahl an Unterrichtstagen stattfinden . . . . .	88
4.3.4.6	Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen an aufeinanderfolgenden Unterrichtstagen stattfinden . . . . .	89
4.3.4.7	Zwischen den Unterrichtstagen, an denen die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe stattfinden, soll nicht weniger als eine festgelegte Anzahl an Unterrichtstagen eingeplant werden, an denen keine Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe durchgeführt werden . . . . .	91
4.3.4.8	Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht sowohl am letzten als auch am ersten Unterrichtstag der Unterrichtswoche stattfinden . . . . .	92
4.3.4.9	Nebenbedingungen zur Berechnung der binären Variablen $zBTS_{bts}$ , die bemisst, ob mindestens eine Lehrveranstaltung einer Bezugsgruppe zu einer bestimmten Schulstunde eines Unterrichtstags eingeplant ist . . . . .	94
4.3.4.10	Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an mehr als einer bestimmten Anzahl an Schulstunden eines Unterrichtstags stattfinden . . . . .	96
4.3.4.11	Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an weniger als einer bestimmten Anzahl an Schulstunden stattfinden . . . . .	98

4.3.4.12	Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nach einer bestimmten zeitlichen Reihenfolge eingeplant sein . . . . .	100
4.4	Annahmen zum Tagesmodell . . . . .	101
4.5	Mathematische Formulierung des Tagesmodells . . . . .	104
4.5.1	Zielfunktion des Tagesmodells . . . . .	104
4.5.2	Nebenbedingungen zur Kapazität der Unterrichtsräume . . . . .	105
4.5.3	Nebenbedingungen zur Einplanung der Lehrveranstaltungen . . . . .	106
4.5.3.1	Alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen vollständig eingeplant werden . . . . .	106
4.5.3.2	Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt zu einer bestimmten Schulstunde stattfinden . . . . .	106
4.5.3.3	Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt in einem bestimmten Unterrichtsraum stattfinden . . . . .	107
4.5.3.4	Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen den geeignetsten Schulstunden zugeordnet werden . . . . .	108
4.5.3.5	Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen den geeignetsten Unterrichtsräumen zugeordnet werden . . . . .	109
4.5.3.6	Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen nicht bestimmten Kombinationen aus Zeitraum und Unterrichtsraum zugeordnet werden . . . . .	110
4.5.4	Nebenbedingungen zur Einplanung der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppen . . . . .	111
4.5.4.1	Es soll mehr als eine Lehrveranstaltung einer Bezugsgruppe zu einer Schulstunde stattfinden . . . . .	111
4.5.4.2	Die Anzahl der gleichzeitig stattfindenden Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe soll nach oben bzw. unten beschränkt werden . . . . .	113
4.5.4.3	Nebenbedingungen zur Berechnung der binären Variablen $zBS_{bs}$ , die bemisst, ob mindestens eine Lehrveranstaltung einer Bezugsgruppe zu einer bestimmten Schulstunde eingeplant ist . . . . .	115

## Inhaltsverzeichnis

4.5.4.4	Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an mehr als einer bestimmten Anzahl an Schulstunden innerhalb einer Zeitspanne stattfinden . . . . .	116
4.5.4.5	Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht durch eine lange Pause unterbrochen werden . . . . .	117
4.5.4.6	Zwischen den Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe soll nicht mehr als eine festgelegte Anzahl an Freistunden pro Unterrichtstag eingeplant werden . . . . .	119
4.5.4.7	Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen an einem Unterrichtstag nur im selben Unterrichtsraum stattfinden . . . . .	122
4.5.4.8	Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nur zu bestimmten Zeitfenstern eines Unterrichtstags stattfinden . . . . .	123
4.5.4.9	Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen so eingeplant werden, dass Wechsel zwischen den Standorten einer Schule keine Unterrichtszeit in Anspruch nehmen . . . . .	124
4.5.4.10	Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nach einer bestimmten zeitlichen Reihenfolge eingeplant sein . . . . .	127
<b>5</b>	<b>Numerische Untersuchungen von fiktiven Stundenplanproblemen an allgemeinbildenden Schulen</b>	<b>129</b>
5.1	Aspekte der Gestaltung der Testinstanzen . . . . .	129
5.1.1	Konfiguration der Hard- und Software für die numerische Untersuchung . . . . .	129
5.1.2	Gestaltung der Größe der fiktiven Schulen . . . . .	130
5.1.3	Gestaltung der Unterrichtsstundenverteilung . . . . .	133
5.1.4	Gestaltung der mehrdimensionalen Gewichte der Nebenbedingungen . . . . .	140
5.1.5	Gestaltung der Mengen und Parameter der Zeit . . . . .	141
5.1.6	Gestaltung der Mengen und Parameter der Raumtypen und Unterrichtsräume . . . . .	143
5.1.7	Gestaltung der Mengen und Parameter der Lehrveranstaltungen . . . . .	147
5.1.8	Gestaltung der Mengen und Parameter der Bezugsgruppen	148

5.1.9	Kriterien zum Abbruch der Lösungsprozesse . . . . .	153
5.2	Numerische Ergebnisse der Testinstanzen . . . . .	154
<b>6</b>	<b>Betriebswirtschaftliche Bewertung und Ausblick</b>	<b>169</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>172</b>
<b>A</b>	<b>Ein Softwaretool zur automatisierten Erstellung von Stundenplänen</b>	<b>181</b>
<b>B</b>	<b>Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“</b>	<b>185</b>
B.1	Überblick . . . . .	185
B.2	Darstellung der in den Tabellen verwendeten Abkürzungen . . .	186
B.3	Vollständige Darstellung ausgewählter Parameter der Bezugsgruppentypen „Vollzeit-“, „Teilzeit-“ und „Stunden-Lehrer“ . . . .	187
B.4	Eine Lösung der Testinstanz . . . . .	192
B.4.1	Stundenpläne der Lehrer . . . . .	192
B.4.2	Stundenpläne der Schulklassen . . . . .	222
B.4.3	Belegungspläne der Unterrichtsräume . . . . .	258

---

## Tabellenverzeichnis

---

3.1	Dekompositionsstrategien im Spiegelbild der Literatur . . . . .	50
3.2	Verteilung der Nebenbedingungen auf die jeweiligen Teilmodelle	53
3.3	Verfahrenstypen im Spiegelbild der Literatur . . . . .	64
4.1	Die Notation der geordneten Mengen . . . . .	67
4.2	Die Bedeutung der Kleinbuchstaben in der Notation der Variablen und Parameter . . . . .	68
5.1	Schüler und Schulklassen in Grund-, Haupt- und Realschulen im Schuljahr 2007/2008 in Deutschland . . . . .	130
5.2	Schüler, Schulklassen und Jahrgangsstufen in Gymnasien im Schuljahr 2007/2008 in Deutschland . . . . .	131
5.3	Übersicht über die in dieser Arbeit untersuchten Instanzengruppen . . . . .	133
5.4	Studentafel der Sekundarstufe I für Gymnasien in NRW . . .	134
5.5	Studentafel für die Sekundarstufe I der fiktiven Schulen . . .	135
5.6	Umfang der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen einer Schulklasse an einer fiktiven Schule . . . . .	136
5.7	Studentafel der Einführungsphase der Sekundarstufe II für fiktive Schulen . . . . .	137
5.8	Studentafel der Qualifikationsphase der Sekundarstufe II für fiktive Schulen . . . . .	138
5.9	Skala der Strafpunkte . . . . .	141
5.10	Übersicht über die Schulstunden eines Unterrichtstags . . . . .	142
5.11	Übersicht über die Pausen eines Unterrichtstags . . . . .	142
5.12	Parameter zur Berechnung der Anzahl der Spezialräume einer fiktiven Schule . . . . .	145
5.13	Anzahl der Unterrichtsräume in Abhängigkeit vom Raumtyp und von der Instanzengruppe . . . . .	145

5.14	Gestaltung der Parameter der Bezugsgruppen . . . . .	150
5.15	Statistiken zu den Lösungen der Wochenmodelle der Testinstanzen . . . . .	155
5.16	Statistiken zu den Lösungen der Tagesmodelle der Testinstanzen	158
5.17	Dauer in Stunden bis eine akzeptable Lösung eines Modells eines Stundenplanproblems erstellt wurde . . . . .	160
5.18	Lösungen der Tagesmodelle der Instanzengruppe „Fünf Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, Oberstufe“ . . . . .	162
5.19	Statistiken zu den Koeffizientenmatrizen der Wochen- und Tagesmodelle der Testinstanzen . . . . .	164
B.1	Abkürzungen der Bezeichnungen der Unterrichtsfächer . . . . .	186
B.2	Abkürzungen der Bezeichnungen der Raumtypen . . . . .	187
B.3	Gestaltung ausgewählter Parameter der Bezugsgruppen der Typen „Vollzeit-“, „Teilzeit-“ und „Stunden-Lehrer“ . . . . .	187
B.4	Stundenplan des Lehrers V-1 . . . . .	192
B.5	Stundenplan des Lehrers V-2 . . . . .	192
B.6	Stundenplan des Lehrers V-3 . . . . .	193
B.7	Stundenplan des Lehrers V-4 . . . . .	193
B.8	Stundenplan des Lehrers V-5 . . . . .	194
B.9	Stundenplan des Lehrers V-6 . . . . .	194
B.10	Stundenplan des Lehrers V-7 . . . . .	195
B.11	Stundenplan des Lehrers V-8 . . . . .	195
B.12	Stundenplan des Lehrers V-9 . . . . .	196
B.13	Stundenplan des Lehrers V-10 . . . . .	196
B.14	Stundenplan des Lehrers V-11 . . . . .	197
B.15	Stundenplan des Lehrers V-12 . . . . .	197
B.16	Stundenplan des Lehrers V-13 . . . . .	198
B.17	Stundenplan des Lehrers V-14 . . . . .	198
B.18	Stundenplan des Lehrers V-15 . . . . .	199
B.19	Stundenplan des Lehrers V-16 . . . . .	199
B.20	Stundenplan des Lehrers V-17 . . . . .	200
B.21	Stundenplan des Lehrers V-18 . . . . .	200
B.22	Stundenplan des Lehrers V-19 . . . . .	201
B.23	Stundenplan des Lehrers V-20 . . . . .	201
B.24	Stundenplan des Lehrers V-21 . . . . .	202
B.25	Stundenplan des Lehrers V-22 . . . . .	202
B.26	Stundenplan des Lehrers V-23 . . . . .	203
B.27	Stundenplan des Lehrers T-1 . . . . .	203
B.28	Stundenplan des Lehrers T-2 . . . . .	204

## Tabellenverzeichnis

B.29	Stundenplan des Lehrers T-3 . . . . .	204
B.30	Stundenplan des Lehrers T-4 . . . . .	205
B.31	Stundenplan des Lehrers T-5 . . . . .	205
B.32	Stundenplan des Lehrers T-6 . . . . .	206
B.33	Stundenplan des Lehrers T-7 . . . . .	206
B.34	Stundenplan des Lehrers T-8 . . . . .	207
B.35	Stundenplan des Lehrers T-9 . . . . .	207
B.36	Stundenplan des Lehrers T-10 . . . . .	208
B.37	Stundenplan des Lehrers T-11 . . . . .	208
B.38	Stundenplan des Lehrers T-12 . . . . .	209
B.39	Stundenplan des Lehrers T-13 . . . . .	209
B.40	Stundenplan des Lehrers T-14 . . . . .	210
B.41	Stundenplan des Lehrers T-15 . . . . .	210
B.42	Stundenplan des Lehrers T-16 . . . . .	211
B.43	Stundenplan des Lehrers T-17 . . . . .	211
B.44	Stundenplan des Lehrers T-18 . . . . .	212
B.45	Stundenplan des Lehrers T-19 . . . . .	212
B.46	Stundenplan des Lehrers T-20 . . . . .	213
B.47	Stundenplan des Lehrers T-21 . . . . .	213
B.48	Stundenplan des Lehrers T-22 . . . . .	214
B.49	Stundenplan des Lehrers T-23 . . . . .	214
B.50	Stundenplan des Lehrers T-24 . . . . .	215
B.51	Stundenplan des Lehrers T-25 . . . . .	215
B.52	Stundenplan des Lehrers T-26 . . . . .	216
B.53	Stundenplan des Lehrers T-27 . . . . .	216
B.54	Stundenplan des Lehrers T-28 . . . . .	217
B.55	Stundenplan des Lehrers T-29 . . . . .	217
B.56	Stundenplan des Lehrers T-30 . . . . .	218
B.57	Stundenplan des Lehrers T-31 . . . . .	218
B.58	Stundenplan des Lehrers T-32 . . . . .	219
B.59	Stundenplan des Lehrers T-33 . . . . .	219
B.60	Stundenplan des Lehrers T-34 . . . . .	220
B.61	Stundenplan des Lehrers T-35 . . . . .	220
B.62	Stundenplan des Lehrers S-1 . . . . .	221
B.63	Stundenplan der Schulklasse 5A . . . . .	222
B.64	Stundenplan der Schulklasse 5B . . . . .	223
B.65	Stundenplan der Schulklasse 5C . . . . .	224
B.66	Stundenplan der Schulklasse 5D . . . . .	225
B.67	Stundenplan der Schulklasse 5E . . . . .	226
B.68	Stundenplan der Schulklasse 5F . . . . .	227

B.69	Stundenplan der Schulklasse 6A	228
B.70	Stundenplan der Schulklasse 6B	229
B.71	Stundenplan der Schulklasse 6C	230
B.72	Stundenplan der Schulklasse 6D	231
B.73	Stundenplan der Schulklasse 6E	232
B.74	Stundenplan der Schulklasse 6F	233
B.75	Stundenplan der Schulklasse 7A	234
B.76	Stundenplan der Schulklasse 7B	235
B.77	Stundenplan der Schulklasse 7C	236
B.78	Stundenplan der Schulklasse 7D	237
B.79	Stundenplan der Schulklasse 7E	238
B.80	Stundenplan der Schulklasse 7F	239
B.81	Stundenplan der Schulklasse 8A	240
B.82	Stundenplan der Schulklasse 8B	241
B.83	Stundenplan der Schulklasse 8C	242
B.84	Stundenplan der Schulklasse 8D	243
B.85	Stundenplan der Schulklasse 8E	244
B.86	Stundenplan der Schulklasse 8F	245
B.87	Stundenplan der Schulklasse 9A	246
B.88	Stundenplan der Schulklasse 9B	247
B.89	Stundenplan der Schulklasse 9C	248
B.90	Stundenplan der Schulklasse 9D	249
B.91	Stundenplan der Schulklasse 9E	250
B.92	Stundenplan der Schulklasse 9F	251
B.93	Stundenplan der Schulklasse 10A	252
B.94	Stundenplan der Schulklasse 10B	253
B.95	Stundenplan der Schulklasse 10C	254
B.96	Stundenplan der Schulklasse 10D	255
B.97	Stundenplan der Schulklasse 10E	256
B.98	Stundenplan der Schulklasse 10F	257
B.99	Stundenplan des Unterrichtsraums BC01	258
B.100	Stundenplan des Unterrichtsraums BC02	258
B.101	Stundenplan des Unterrichtsraums BC03	259
B.102	Stundenplan des Unterrichtsraums Ku01	259
B.103	Stundenplan des Unterrichtsraums Ku02	260
B.104	Stundenplan des Unterrichtsraums Ku03	260
B.105	Stundenplan des Unterrichtsraums Mu01	261
B.106	Stundenplan des Unterrichtsraums Mu02	261
B.107	Stundenplan des Unterrichtsraums Mu03	262
B.108	Stundenplan des Unterrichtsraums No01	262

## Tabellenverzeichnis

B.109 Stundenplan des Unterrichtsraums No02 . . . . .	263
B.110 Stundenplan des Unterrichtsraums No03 . . . . .	263
B.111 Stundenplan des Unterrichtsraums No04 . . . . .	264
B.112 Stundenplan des Unterrichtsraums No05 . . . . .	264
B.113 Stundenplan des Unterrichtsraums No06 . . . . .	265
B.114 Stundenplan des Unterrichtsraums No07 . . . . .	265
B.115 Stundenplan des Unterrichtsraums No08 . . . . .	266
B.116 Stundenplan des Unterrichtsraums No09 . . . . .	266
B.117 Stundenplan des Unterrichtsraums No10 . . . . .	267
B.118 Stundenplan des Unterrichtsraums No11 . . . . .	267
B.119 Stundenplan des Unterrichtsraums No12 . . . . .	268
B.120 Stundenplan des Unterrichtsraums No13 . . . . .	268
B.121 Stundenplan des Unterrichtsraums No14 . . . . .	269
B.122 Stundenplan des Unterrichtsraums No15 . . . . .	269
B.123 Stundenplan des Unterrichtsraums No16 . . . . .	270
B.124 Stundenplan des Unterrichtsraums No17 . . . . .	270
B.125 Stundenplan des Unterrichtsraums No18 . . . . .	271
B.126 Stundenplan des Unterrichtsraums No19 . . . . .	271
B.127 Stundenplan des Unterrichtsraums No20 . . . . .	272
B.128 Stundenplan des Unterrichtsraums No21 . . . . .	272
B.129 Stundenplan des Unterrichtsraums No22 . . . . .	273
B.130 Stundenplan des Unterrichtsraums No23 . . . . .	273
B.131 Stundenplan des Unterrichtsraums No24 . . . . .	274
B.132 Stundenplan des Unterrichtsraums No25 . . . . .	274
B.133 Stundenplan des Unterrichtsraums No26 . . . . .	275
B.134 Stundenplan des Unterrichtsraums No27 . . . . .	275
B.135 Stundenplan des Unterrichtsraums No28 . . . . .	276
B.136 Stundenplan des Unterrichtsraums No29 . . . . .	276
B.137 Stundenplan des Unterrichtsraums No30 . . . . .	277
B.138 Stundenplan des Unterrichtsraums No31 . . . . .	277
B.139 Stundenplan des Unterrichtsraums No32 . . . . .	278
B.140 Stundenplan des Unterrichtsraums No33 . . . . .	278
B.141 Stundenplan des Unterrichtsraums No34 . . . . .	279
B.142 Stundenplan des Unterrichtsraums No35 . . . . .	279
B.143 Stundenplan des Unterrichtsraums No36 . . . . .	280
B.144 Stundenplan des Unterrichtsraums PP01 . . . . .	280
B.145 Stundenplan des Unterrichtsraums PP02 . . . . .	281
B.146 Stundenplan des Unterrichtsraums PP03 . . . . .	281
B.147 Stundenplan des Unterrichtsraums Ph01 . . . . .	282
B.148 Stundenplan des Unterrichtsraums Ph02 . . . . .	282

B.149 Stundenplan des Unterrichtsraums Ph03 . . . . .	283
B.150 Stundenplan des Unterrichtsraums Sp01 . . . . .	283
B.151 Stundenplan des Unterrichtsraums Sp02 . . . . .	284
B.152 Stundenplan des Unterrichtsraums Sp03 . . . . .	284
B.153 Stundenplan des Unterrichtsraums Sp04 . . . . .	285

---

# Algorithmenverzeichnis

---

3.1 Der Prozess zur Lösung des Problems der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen . . . . .	62
5.1 Verteilung der Lehrveranstaltungen auf die Lehrer . . . . .	140



---

# Kapitel 1

## Einleitung

---

In über 36.000 allgemeinbildenden Schulen in Deutschland werden 9,3 Millionen Kinder, Jugendliche und Erwachsene auf die Arbeit und das Leben in einer modernen Gesellschaft vorbereitet.<sup>1</sup> Die Ausbildung der Schüler ist somit von überragender volkswirtschaftlicher und gesellschaftspolitischer Bedeutung.

An jeder allgemeinbildenden Schule wird die Vermittlung des hierfür notwendigen Unterrichts durch einen Stundenplan geregelt. Dieser legt fest, wann eine Unterrichtsstunde in einem Unterrichtsraum von einem Lehrer für eine Schulklasse bzw. für einen Oberstufenkurs gehalten wird.

Ein Stundenplan wird von der Verwaltung einer Schule vor Beginn eines Schulhalbjahres erstellt. Der zu bewältigende Planungsprozess ist äußerst anspruchsvoll und nimmt im Regelfall die Arbeitskraft mehrerer Personen über mehrere Wochen in Anspruch.<sup>2</sup> Eine der wichtigsten Aufgaben besteht darin, die Charakteristika einer Schule zu erfassen und diese hinsichtlich ihrer Bedeutung für ein zu lösendes Stundenplanproblem zu bewerten.

Zu diesen Charakteristika zählen unter anderem die Ausstattung und Anzahl der Unterrichtsräume an der jeweiligen Schule. So können bspw. Planer an Schulen mit wenigen Turnhallen eventuell dazu gezwungen sein, einen Teil des Sportunterrichts in den Räumlichkeiten einer benachbarten Schule einzuplanen. Wenn allerdings viele Turnhallen zur Verfügung stehen, dann kann der gesamte Sportunterricht auf dem eigenen Gelände stattfinden.

Die Schulen differenzieren sich zum Teil auch stark aufgrund rechtlicher Vorgaben. In Deutschland gibt es 15 verschiedene Typen allgemeinbildender Schulen, die aufgrund des föderalen Systems in Deutschland in jedem der 16 Bun-

---

<sup>1</sup> Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2008, S. 17 und 22).

<sup>2</sup> Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 59-61).

desländer anders organisiert werden.<sup>3</sup>

Aber auch die Lage einer Schule ist unter Umständen bei der Erstellung des Stundenplans zu berücksichtigen. So ist eine Schule auf dem Land mit einem großen Einzugsgebiet im Regelfall auf eine Abstimmung mit den öffentlichen Personennahverkehrsgesellschaften angewiesen, um jedem Schüler auch aus den entlegenen Teilen des Umlands einen angemessenen Schulweg zu ermöglichen.

Diese Beispiele beschreiben nur einen kleinen Ausschnitt der Charakteristika von Schulen. Sie sind im allgemeinen sehr zahlreich, äußerst vielfältig und zudem einem ständigen Wandel unterlegen. So ändert sich zum Beispiel die Zusammensetzung des Kollegiums durch altersbedingte Austritte von Lehrern regelmäßig.

Das Problem der Erstellung eines Stundenplans ist demnach sehr stark von den Charakteristika einer spezifischen allgemeinbildenden Schule abhängig. Ein formaler Lösungsansatz sollte daher so offen gestaltet sein, dass dieser flexibel auf die Bedürfnisse einzelner Schulen angepasst werden kann.

Allerdings schränken die wenigen in der Literatur vorgeschlagenen Ansätze zur Erstellung von Stundenplänen für allgemeinbildende Schulen die Möglichkeiten der Modellierung zum Teil stark ein. So wird unter anderem angenommen, dass bestimmte Charakteristika an jeder Schule gleich stark ausgeprägt sind.

Weiterhin wird außer Acht gelassen, dass auch Aspekte Berücksichtigung finden müssen, die nicht den eigentlichen Unterricht betreffen. In Ganztagschulen müssen bspw. die tägliche Verpflegung und die Nachmittagsbetreuung der Schüler organisiert werden. Bisherige Lösungsansätze können solche Anforderungen an einen Stundenplan nicht abbilden.

Um ein Stundenplanproblem an allgemeinbildenden Schulen lösen zu können, wird in dieser Arbeit ein offen gestalteter Lösungsansatz vorgeschlagen, der flexibel den jeweiligen Erfordernissen angepasst werden kann. Dazu wird das Problem mathematisch modelliert, da dadurch eine hohe Abbildungsgenauigkeit der stundenplanrelevanten Charakteristika einer Schule ermöglicht wird. Zur Lösung der Modelle wird ein exaktes Verfahren der gemischt-ganzzahligen Programmierung angewendet, womit einige Vorteile verbunden sind.

So besitzt dieses exakte Verfahren im Gegensatz zu den Heuristiken grundsätzlich eine Konvergenzgarantie. Demnach wird eine optimale Lösung eines Modells gefunden, sofern eine existiert. Außerdem steht eine Vielzahl leistungsfähiger Optimierungsprogramme zur Verfügung, wodurch eine aufwändige Entwicklung und Pflege eines Lösungsalgorithmus entfällt. Ein Nachteil ist allerdings, dass die Lösung eines Modells in einer vertretbaren Rechenzeit nicht garantiert werden kann.

Es gilt daher herauszufinden, ob es mit Hilfe eines offenen und flexiblen Lösungsansatzes möglich ist, realistische Stundenplanprobleme für allgemein-

---

<sup>3</sup>Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2005, S. 44f).

## *Kapitel 1: Einleitung*

bildenden Schulen unter Verwendung der Methodik der gemischt-ganzzahligen Programmierung in einer akzeptablen Zeit bewältigen zu können.

Dazu wird in Kapitel 2 das Problem der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen ausführlich erläutert und eingegrenzt. Es wird dargestellt, dass es im Rahmen dieser Arbeit als ein Sonderfall des Course Scheduling<sup>4</sup> aufgefasst wird. Dies ist eine Dekompositionsstrategie, bei der das Problem in zwei sequentiell zu lösende Teilprobleme zerlegt wird, die als Unterrichtsstundenverteilung und als Unterrichtsstundenzuordnung bezeichnet werden.

Gegenstand des dritten Kapitels sind die praxisrelevanten Aspekte zur Modellierung und zur Lösung des Problems. Zunächst wird beschrieben, wie ein Stundenplanproblem einer allgemeinbildenden Schule abgebildet wird. Dabei wird stets der Bezug zu bisherigen Modellierungen des Course Scheduling für verwandte Stundenplanprobleme an anderen Bildungseinrichtungen wie Universitäten hergestellt. Darauf folgt die Darstellung des Verfahrens zur Lösung des Problems. Dabei wird eine neue Dekompositionsstrategie für die Unterrichtsstundenzuordnung vorgestellt. Diese bewirkt, dass dieses Teilproblem in einem Wochen- und mehreren Tagesmodellen abgebildet wird. Das Kapitel endet mit einer Diskussion der algorithmischen Ansätze zur Lösung der Teilmodelle.

Das vierte Kapitel widmet sich ausschließlich der mathematischen Formulierung des Wochen- und des Tagesmodells.

Im Mittelpunkt des fünften Kapitels steht die numerische Untersuchung der Stundenplanprobleme allgemeinbildender Schulen. Obwohl diese fiktiv sind, können sie dennoch als realistisch angesehen werden. Sie sind nach rechtlichen Vorgaben und offiziellen Statistiken gestaltet, was ebenfalls in Kapitel 5 erläutert wird.

Diese Arbeit schließt mit einer kritischen Würdigung des vorgestellten Lösungsansatzes aus betriebswirtschaftlicher Perspektive.

---

<sup>4</sup> Vgl. Lange (2005, S. 7f).



---

## Kapitel 2

# Kennzeichnung des Problems der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen

---

Hilbert-Siekmann (2001) beschreibt allgemeinbildende Schulen als „staatliche oder private Institutionen, die der Vermittlung einer für die Bewältigung zukünftiger Lebensaufgaben hilfreichen, teilweise unerlässlichen allgemeinen Grundbildung an Kinder und Jugendliche, oder [...] Erwachsene dienen“.<sup>5</sup>

Die Organisation allgemeinbildender Schulen muss zahlreichen gesetzlichen Vorgaben genügen. Diese unterscheiden sich zum Teil stark, weil in Deutschland die Schulgesetzgebung in den Zuständigkeitsbereich der Bundesländer fällt. Eine Auswahl an gesetzlichen Vorgaben sei im Folgenden aufgelistet.<sup>6</sup>

- Lehrer, die auf ein oder mehrere Unterrichtsfächer spezialisiert sind, unterrichten die Schüler in den jeweiligen Fächern.
- Die Schüler werden Stufen zugeordnet. Abhängig vom Schultyp umfasst eine Stufe Schulklassen, Kurse oder eine Mischung aus beidem. Sind die Schüler nur in Schulklassen organisiert, dann besuchen alle Schüler einer Klasse den gleichen Unterricht. Wenn eine Mischung aus Schulklassen und Kursen besteht, dann werden für spezifische Fächer die Schüler einer Schulklasse geteilt und mit den Schülern anderer Schulklassen gekoppelt, die den gleichen Kurs gewählt haben. In einer rein kursbasierten Stufe existieren keine Schulklassenstrukturen mehr. Die Schule bietet mehrere Kurse an, aus denen die

---

<sup>5</sup> Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 16).

<sup>6</sup> Stellvertretend für alle Schulgesetzbücher der jeweiligen Bundesländer wird an dieser Stelle auf das des Landes Nordrhein-Westfalen verwiesen (Schulministerium NRW (2008a)).

Schüler unter Berücksichtigung rechtlicher Vorgaben eine vorgegebene Anzahl wählen.

- Eine Stundentafel gibt für jede Schule einen Rahmen vor, innerhalb dessen festzulegen ist, welche Fächer in welchem zeitlichen und inhaltlichen Umfang in einer Stufe zu unterrichten sind.
- Ein wochenbasierter Stundenplan regelt, wann welcher Lehrer in welchem Raum für welche Klasse bzw. Kurs welche Unterrichtsstunde gibt.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung definiert 15 verschiedene allgemeinbildende Schultypen.<sup>7</sup> Für jeden Schultyp wiederum werden in jedem Bundesland eigene Stundentafeln vorgegeben, die die Grundlage für die Erstellung des Stundenplans darstellen.<sup>8</sup> Eine Stundentafel ist für jede Schule eines Schultyps zwar verbindlich, lässt aber einer Schule viele Freiheiten bei ihrer konkreten Umsetzung. Die Stundentafel für die Hauptschule in Nordrhein-Westfalen gibt bspw. vor, dass in den Jahrgangsstufen 5 und 6 insgesamt sechs Wochenstunden in den Unterrichtsfächern **Physik**, **Chemie** oder **Biologie** zu erteilen sind.<sup>9</sup> Die Schulverwaltung kann frei entscheiden, welche der Fächer in welchen Jahrgangsstufen in wie vielen Unterrichtsstunden eingeplant werden. Hierbei werden die individuellen Charakteristika von Schulen berücksichtigt. Falls bspw. an einer Schule ein Mangel an Physiklehrern herrscht, dann werden zum Ausgleich mehr Unterrichtsstunden in **Chemie** oder **Biologie** angeboten.

Die Stundentafeln werden den Gegebenheiten an einer Schule angepasst und bilden somit eine individuelle Grundlage für die Erstellung eines Stundenplans. Ein Stundenplan muss demnach nicht nur rechtlichen Vorgaben genügen, die für alle Schulen gelten, er spiegelt auch die Charakteristika einer spezifischen Schule wider.

Diese Charakteristika sind äußerst vielfältig und wirken sich unterschiedlich stark auf das zu lösende Stundenplanproblem an einer konkreten Schule aus. Dies wird an den folgenden Beispielen ersichtlich.

- Im Regelfall verfügt jede Schule über ein eigenes Gebäude. Die Größe und Ausstattung eines Unterrichtsraums können sich signifikant von denen anderer Unterrichtsräumen anderer Schulen unterscheiden.
- Jede Schule verfügt über ein Lehrerkollegium, dessen Mitglieder individuelle Bedürfnisse und Ansprüche an die Ausgestaltung ihrer Arbeitsbedingungen haben.

---

<sup>7</sup> Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2005, S. 44f).

<sup>8</sup> Als ein Beispiel für eine Stundentafel sei an dieser Stelle auf die Verordnung über die Ausbildung und Abschlussprüfungen in der Sekundarstufe I des Landes Nordrhein-Westfalen verwiesen (Schulministerium NRW (2008b)).

<sup>9</sup> Vgl. Schulministerium NRW (2008b, Anlage 1).

- Schulen, die Leistungssportler besonders fördern, müssen flexibel auf jeweilige Wettkämpfe reagieren können.
- Die Anzahl der Schüler sinkt aufgrund des demographischen Wandels nachhaltig. Deshalb sind die Schulen einer Stadt immer mehr darauf angewiesen zusammenzuarbeiten, um in der Oberstufe ein abwechslungsreiches Kursangebot zu ermöglichen.

Die Liste der Charakteristika lässt sich noch beliebig fortsetzen. Sie verdeutlicht die unterschiedlichen Anforderungen, die an einer jeden Schule an einen Stundenplan gestellt werden. Sie sind zudem einem stetigen Wandel unterlegen. Es werden nicht nur häufig bspw. die gesetzlichen Vorgaben an die Stundentafeln durch die Landesministerien geändert, sondern auch das Lehrerkollegium durch den Ab- und Zugang von Lehrern erneuert.

Jede allgemeinbildende Schule ist daher mit einer einzigartigen Kombination aus unterschiedlich stark ausgeprägten Charakteristika ausgestattet. Dadurch ist auch jede Schule mit einem einzigartigen Stundenplanproblem konfrontiert, das sich nur schwer verallgemeinern lässt. Dem Wissen des Autors nach existiert dementsprechend keine einheitlich anerkannte Kennzeichnung des Problems der Stundenplanerstellung für allgemeinbildende Schulen.<sup>10</sup> Dies gilt auch für verwandte Problemstellungen an Universitäten<sup>11</sup>.

Es ist allerdings möglich, das Problem ohne einen konkreten Bezug auf schulische oder universitäre Institutionen zu beschreiben. So kennzeichnet Hilbert-Siekmann (2001) das Problem der Stundenplanerstellung als „ein fünfdimensionales Zuordnungsproblem, welches den Gegenstand hat, das räumliche und zeitliche Zusammentreffen aktiver und passiver Handlungsträger zum Zwecke der Ausführung einer Menge exogen vorgegebener Aufträge innerhalb eines definierten Zeithorizonts zu planen“.<sup>12</sup>

Im schulischen Kontext sind die Lehrer die „aktiven Handlungsträger“ und die Schüler die „passiven Handlungsträger“. Diese sollen in einem Unterrichtsraum zusammentreffen, um „exogen vorgegebene Aufträge“ in Form von Unterrichtsstunden zu erfüllen.

Hilbert-Siekmann (2001) führt weiter aus, dass bei der Stundenplanerstellung verschiedene Restriktionen fallabhängig zu berücksichtigen und dabei mehrere individuell ausgeprägte Zielsetzungen zu verfolgen sind.<sup>13</sup>

Ein Stundenplan wird unter Berücksichtigung verschiedener Nebenbedingungen erstellt. Diese sind entweder hart oder weich formuliert.

Die harten Nebenbedingungen müssen zwingend eingehalten werden, damit

---

<sup>10</sup> Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 14-16).

<sup>11</sup> Vgl. Zervoudakis und Stamatopoulos (2001, S. 28).

<sup>12</sup> Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 50).

<sup>13</sup> Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 50).

die Zulässigkeit eines Stundenplans garantiert ist. Ein zulässiger Stundenplan hat bspw. die Bedingung zu erfüllen, dass alle Unterrichtsstunden eingeplant sind.

Die weichen Nebenbedingungen haben eine nachrangige Bedeutung. Sie dienen der Steigerung der Akzeptanz eines Stundenplans unter den aktiven und passiven Handlungsträgern und müssen nicht zwingend erfüllt werden. Ein Stundenplan kann bspw. unter den Lehrern einer spezifischen Schule auf eine hohe Akzeptanz stoßen, wenn keiner von ihnen mehr als fünf Unterrichtsstunden pro Unterrichtstag geben soll.

Nach Hilbert-Siekmann (2001) sind die Restriktionen fallabhängig zu berücksichtigen.<sup>14</sup> Die verfolgten Zielsetzungen sind vollständig individuell ausgeprägt.<sup>15</sup> Dies unterstreicht, dass jede Schule stets mit einem einzigartigen Planungsproblem konfrontiert ist.

Doch trotz dieser präzisen Kennzeichnung ist die zu lösende Problemstellung an spezifischen Institutionen nur unzureichend beschrieben. Die gleichzeitige gegenseitige Zuordnung von Ort, Zeit, Lehrer, Schulklasse und Unterrichtsstunde ist innerhalb eines Lösungsansatzes dem Wissen des Autors nach in der Wissenschaft oder Praxis noch nicht dokumentiert worden.

Stattdessen wird die Problemstellung vereinfacht und damit deren Komplexität reduziert. In der Literatur wird diesbezüglich zwischen zwei Ansätzen unterschieden. Dabei handelt es sich zum einen um das Class-Teacher-Timetabling und zum anderen um das Course Scheduling. Beide sind Teil des Educational Timetabling.<sup>16</sup> Dazu gehört auch das Examination Timetabling, womit die Planung der Prüfungstermine geregelt wird. Das Examination Timetabling ist allerdings nicht Gegenstand dieser Untersuchung und wird deshalb im Folgenden nicht weiter betrachtet.<sup>17</sup>

Die Ansätze des Class-Teacher-Timetablings und des Course Scheduling werden nun im Folgenden näher beschrieben.

- **Class-Teacher-Timetabling**

Der Ansatz des Class-Teacher-Timetabling wurde ursprünglich für Schulen entwickelt, an denen jeder Schüler einer Schulklasse fest zugeordnet ist. Jeder Schüler einer Schulklasse hat den gleichen Stundenplan zu absolvieren.<sup>18</sup> Davon ausgenommen sind die Kurse, die ein Schüler einer Schulklasse zusätzlich belegen muss. Diese Kurse setzen sich aus den Schülern mehrerer

---

<sup>14</sup> Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 50).

<sup>15</sup> Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 50).

<sup>16</sup> Einführungen in diese Problematik können bei Lange (2005), Schaerf (1999a) und Petrovic und Burke (2004) nachgelesen werden.

<sup>17</sup> Einen Überblick über die Modellierung von Problemen des Examination Timetabling und über Aspekte zu deren algorithmischen Lösung gibt Qu et al. (2009).

<sup>18</sup> Vgl. Lange (2005, S. 8).

Schulklassen einer Jahrgangsstufe zusammen. Es ist bereits festgelegt, wie viele Unterrichtsstunden in welchen Unterrichtsfächern eine Schulklasse zu besuchen hat. Weiterhin wird vorgegeben, wie viele Unterrichtsstunden in welchen Unterrichtsfächern ein Lehrer zu geben hat. Unterrichtet zum Beispiel ein Lehrer die Unterrichtsfächer *Mathematik* und *Deutsch*, so könnte festgelegt werden, dass er in *Deutsch* acht und in *Mathematik* zwölf Unterrichtsstunden zu erteilen hat. Für eine Schulklasse könnte bestimmt sein, dass diese drei Unterrichtsstunden in *Deutsch* zu besuchen hat. Die Lehrer und die Schulklassen sind nicht einander zugeordnet. Das Ziel ist, eine Unterrichtsstunde so in den zeitlichen Horizont einzuplanen, dass mindestens ein Lehrer und mindestens eine Schulklasse bzw. ein Kurs ihr zugeordnet werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass jeder Lehrer und jede Schulklasse bzw. jeder Kurs genau in dem vorgegebenen Umfang an Unterrichtsstunden für ein Fach einzuplanen sind. Ferner dürfen weder Lehrern noch Schulklassen zwei oder mehr Unterrichtsstunden zugeordnet werden, die gleichzeitig stattfinden.<sup>19</sup>

- **Course Scheduling**

Der Ansatz des Course Scheduling wurde ursprünglich für Universitäten entwickelt, an denen jeder Student aus einer vorgegebenen Anzahl an Kursen wählen kann. Es ist bereits festgelegt, welcher Dozent welche Vorlesung hält und welcher Student daran teilnimmt. Das Ziel ist es, die Vorlesungsstunden so einzuplanen, dass für keinen Studenten und keinen Dozenten zwei oder mehr Unterrichtsstunden gleichzeitig eingeplant werden.<sup>20</sup> Der Ansatz des Course Scheduling kann auch auf die schulische Problemstellung übertragen werden. In diesem Fall wäre bereits festgelegt, welche Unterrichtsstunde von welchem Lehrer in welcher Schulklasse bzw. welchem Kurs gehalten wird. Die Unterrichtsstunden sind so einzuplanen, dass für keinen Schüler oder Lehrer zwei oder mehr Unterrichtsstunden gleichzeitig stattfinden.

Zwischen den beiden Ansätzen gibt es ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal. Beim Course Scheduling sind die Lehrer, Unterrichtsstunden und Schulklassen bzw. Kurse bereits einander zugeordnet. Es muss nur noch festgelegt werden, wann die Unterrichtsstunden in welchem Unterrichtsraum stattfinden sollen. Beim Ansatz des Class-Teacher-Timetabling hingegen sind nicht nur die Zeit und der Ort einer Unterrichtsstunde zuzuordnen, sondern auch die Schulklasse bzw. der Kurs und der Lehrer.

Das Problem der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen kann sowohl als ein Sonderfall des Class-Teacher-Timetablings als auch des Course

---

<sup>19</sup> Vgl. Schaerf (1999a, S. 88).

<sup>20</sup> Vgl. Lange (2005, S. 7f).

Schedulings beschrieben werden. In der Praxis wird es von den Planern an Schulen allerdings in der Regel als ein Sonderfall des Course Scheduling aufgefasst.<sup>21</sup> Der Ansatz des Class-Teacher-Timetabling spielt demnach nur eine untergeordnete Rolle, weshalb im Rahmen dieser Arbeit nur der Ansatz des Course Scheduling betrachtet wird.<sup>22</sup> Mit diesen Erkenntnissen kann das Problem der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen nun präziser beschrieben werden:<sup>23</sup>

Für einen einwöchigen Planungshorizont soll festgelegt werden, wann und wo welche Lehrer welchen Schulklassen bzw. Kursen welche Unterrichtsstunden erteilen. Dabei sind, abhängig von den Charakteristika der jeweiligen Schule, verschiedene Nebenbedingungen einzuhalten.

Dieses Gesamtproblem wird in zwei sequentiell zu lösende Teilprobleme dekomponiert:

#### 1. **Unterrichtsstundenverteilung**

Zuerst werden die Unterrichtsstunden verteilt. Das bedeutet, dass unter Berücksichtigung der Charakteristika einer Schule festgelegt wird, welcher Lehrer welche Unterrichtsstunde in welcher Schulklasse bzw. welchem Kurs hält.

#### 2. **Unterrichtsstundenzuordnung**

Danach werden die Unterrichtsstunden einem Zeitraum der Unterrichtswoche und einem Unterrichtsraum unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen zugeordnet. Die Nebenbedingungen werden nach den Charakteristika einer allgemeinbildenden Schule individuell gestaltet.

Im Vergleich zur Vielzahl der Vorschläge zur Lösung der Unterrichtsstundenzuordnung ist die Unterrichtsstundenverteilung ein in der Literatur nur wenig behandeltes Problem. Zumeist sind die Ansätze an die Bedürfnisse von Universitäten angepasst, wie bspw. bei Hultberg und Cardoso (1997) beschrieben wird. Einige wenige Artikel, wie von Tillett (1975) und Alvarez-Valdes et al. (2002b), beschäftigen sich mit Schulen in Australien bzw. Spanien. Diese Lösungsansätze sind allerdings nicht auf allgemeinbildende Schulen in Deutschland übertragbar, da sich die Schulsysteme zu sehr unterscheiden. Dem Wissen des Autors nach existiert keine Schrift, in der die spezifische Problematik der Unterrichtsstundenverteilung an allgemeinbildenden Schulen in Deutschland beschrieben und ein entsprechender Vorschlag zu deren Lösung gemacht wird.

Auch in dieser Arbeit wird nur am Rande auf diese Problematik eingegan-

---

<sup>21</sup> Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 20).

<sup>22</sup> Einführungen und Überblicke in den Ansatz des Class-Teacher-Timetabling geben Carasco und Pato (2001), Legierski (2003) und Santos et al. (2005). Die Studien von Pilger (2003) und Arai (2005) wenden diesen Ansatz zur Lösung von Stundenplanproblemen an allgemeinbildenden Schulen in Deutschland an.

<sup>23</sup> Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 50).

*Kapitel 2: Kennzeichnung des Problems der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen*

gen, da sie sich hauptsächlich mit der Unterrichtsstundenzuordnung beschäftigt. Es wird daher in den folgenden Kapiteln 3 und 4 angenommen, dass die Unterrichtsstundenverteilung stets so vorgenommen wird, dass sie eine ausreichende Basis für akzeptable Stundenpläne darstellt. Daher wird dort das Problem nicht weiter betrachtet. In Kapitel 5 wird es allerdings noch einmal aufgegriffen und dessen Einfluss auf die erstellten Stundenpläne diskutiert.



---

## Kapitel 3

# Praxisrelevante Aspekte und Ansätze zur Lösung des Problems

---

### 3.1 Eine fiktive Schule zur beispielhaften Erläuterung der Problemstellung

In den folgenden Abschnitten wird der Ansatz zur Lösung des Problems der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen beschrieben. Zum besseren Verständnis der abstrakten Erläuterungen werden Beispiele herangezogen, die sich auf die Gegebenheiten einer fiktiven „Leibniz-Schule“ beziehen. Diese ist aufgrund der besseren Übersichtlichkeit besonders klein dimensioniert. Dennoch können die anhand der Leibniz-Schule beschriebenen Beispiele auf die Gegebenheiten an realen, großen Schulen einfach übertragen werden.

Die Beispiele erscheinen immer in kursiver Schrift und werden eingerückt dargestellt, um eine bessere Unterscheidung zu den abstrakten Erklärungen zu ermöglichen.

Die Merkmale der Leibniz-Schule können grob in die Kategorien Zeit, Unterrichtsraum, Schüler und Lehrer unterteilt werden.

- **Zeitliche Merkmale**

An der Leibniz-Schule wird an fünf Tagen zwischen Montag und Freitag unterrichtet, wobei jeder Tag in zehn Schulstunden unterteilt wird. Die ersten sieben Schulstunden finden am Vormittag statt, die restlichen drei am Nachmittag. Zwischen jeder Schulstunde ist eine Pause vorgesehen. Die erste, dritte, fünfte, siebte und neunte Pause dauert fünf Minuten, die übrigen Pausen 15 Minuten.

- **Räumliche Merkmale**

Die Schule ist in einem Hauptgebäude untergebracht, zu dem auch zwei Turnhallen, eine Aula und eine Kapelle gehören. In unmittelbarer Nähe gibt es eine weitere Schule, auf deren Physik-Raum zugegriffen wird. Eine Schwimmhalle kann innerhalb von zehn Minuten vom Hauptgebäude aus zu Fuß erreicht werden. Neben jeweils einem speziellen Fachraum für den Unterricht in **Physik**, **Informatik**, **Musik**, **Kunst**, **Chemie** und **Biologie** gibt es auch fünf Unterrichtsräume, die über keine speziellen Ausstattungsmerkmale verfügen. Diese werden als „Normale Räume“ bezeichnet und im Folgenden mit den Abkürzungen N01 bis N05 gekennzeichnet.

- **Merkmale der Schülerschaft**

Es existieren zwei Jahrgangsstufen mit je zwei Schulklassen. Jede Schulklasse wird in mehreren Schulfächern unterrichtet, deren Umfang entweder zwei oder drei Unterrichtsstunden pro Unterrichtswoche beträgt. Innerhalb der Jahrgangsstufen haben die Schüler in den Unterrichtsfächern **Sport** und **Zweite Fremdsprache** die Möglichkeit, zwischen Kursen in **Handball** und **Schwimmen** bzw. **Latein** und **Französisch** zu wählen. Die Schüler werden aus den Klassenverbänden gelöst und den gewünschten Kursen zugeordnet.

- **Merkmale des Kollegiums**

An der Schule arbeiten fünf Lehrer, die alle zwischen 20 und 28 Unterrichtsstunden geben müssen. Zusätzlich ist eine Referendarin angestellt, die nicht selbst unterrichtet, aber bei ausgewählten Unterrichtsstunden hospitiert.

## 3.2 Überblick über kommerzielle Stundenplan-Software und über bisherige Lösungsansätze für das Problem in der Literatur

Zur Lösung des Problems der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen sind bereits zahlreiche und vielfältige Ansätze in der Literatur vorgeschlagen worden. Zumeist wurden sie entwickelt, um Stundenpläne für spezielle Institutionen zu erstellen. Diese sind bspw. weiterführende Schulen in Griechenland<sup>24</sup>, Italien<sup>25</sup> oder Berlin<sup>26</sup> bzw. Universitäten in Patras<sup>27</sup> oder Hannover<sup>28</sup>.

---

<sup>24</sup> Vgl. Birbas et al. (2008).

<sup>25</sup> Vgl. Colorni et al. (1998).

<sup>26</sup> Vgl. Hilbert-Siekman (2001).

<sup>27</sup> Vgl. Daskalaki et al. (2004) und Daskalaki und Birbas (2005).

<sup>28</sup> Vgl. Schimmelpfeng und Helber (2007).

Die besonderen Eigenschaften und Anforderungen der verschiedenen Institutionen führen dazu, dass die korrespondierenden Lösungsansätze zum Teil sehr individuell gestaltet sind. Aber dennoch wird letztlich mit der Erstellung eines Stundenplans immer das gleiche Ziel verfolgt. Dabei werden häufig ähnliche Modellierungen vorgenommen bzw. Dekompositionsstrategien und Algorithmen verwendet, so dass der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz den Ansätzen der Literatur auf einer abstrakten Ebene gegenübergestellt werden kann. Dadurch wird ein Überblick über den Stand der Forschung ermöglicht.

Allerdings wird nur der Verweis auf die Wissenschaft einer Untersuchung des Problems der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen in Deutschland nicht gerecht. Denn seit etwa 1970 bieten Softwarehersteller entsprechende Produkte zur Lösung des Problems an.<sup>29</sup> Dass sie auch in der Praxis eingesetzt werden, beweisen entsprechende Untersuchungen von Hilbert-Siekmann (2001), Arai (2005) oder Stobernack und Palamidis (2007). So war zum Beispiel im Schuljahr 1997/1998 an 78% der Berliner Gymnasien und Gesamtschulen Stundenplan-Software in Gebrauch.<sup>30</sup>

Leider sind dem Autor keine Studien bekannt, die deren Verbreitung im gesamten Bundesgebiet zum Gegenstand haben. Eine Beurteilung der Bedeutung von Stundenplan-Software für den praktischen Einsatz in Schulen fällt aber nicht nur deshalb sehr schwer, sondern auch weil zumeist eine manuelle Nachbearbeitung der automatisch erstellten Stundenpläne erforderlich ist.<sup>31</sup> Dies kann darauf hindeuten, dass die Produkte nicht den realen Problemstellungen gewachsen sind. Es kann aber auch ein Indiz dafür sein, dass sie vom Anwender falsch genutzt werden.

Allerdings steht es außer Frage, dass Stundenplan-Software in den allgemeinbildenden Schulen Deutschlands eingesetzt wird und deshalb in dieser Arbeit berücksichtigt werden muss. Hilbert-Siekmann (2001) und Brandt (2003) zählen zwar insgesamt 27 verschiedene Stundenplanprogramme auf, aber dennoch sind diese Listen unvollständig.<sup>32</sup> Mittlerweile sind weitere Anbieter am Markt erschienen.

Eine vollständige Betrachtung aller erhältlichen Produkte ist aufgrund dieser Vielzahl kein Ziel dieser Arbeit, zumal sie auch wenig aussagekräftig wäre. Außerdem können keine exakten Untersuchungen über das zugrunde liegende Modell, den verwendeten Lösungsalgorithmen oder eventuellen Dekompositionsstrategien durchgeführt werden. Schließlich handelt es sich hierbei um die Geschäftsgrundlage der kommerziellen Anbieter, so dass eine Geheimhaltung von

---

<sup>29</sup> Vgl. Junginger (1986).

<sup>30</sup> Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 56).

<sup>31</sup> Entsprechende Verweise finden sich in der Literatur bei Asendorpf (2000, S. 1) und Hilbert-Siekmann (2001, S. 56).

<sup>32</sup> Vgl. Brandt (2003, S. 12) sowie Hilbert-Siekmann (2001, S. 57).

Details aus deren Sicht zwingend erforderlich ist.

Aus diesem Grund wird stellvertretend für alle Produkte nur die Software „Tabulex“<sup>33</sup> der Firma ZI Soft näher untersucht. Deren Möglichkeiten zur Modellierung und Lösung eines Stundenplanproblems werden aus dem Handbuch abgeleitet und in den Kontext der Lösungsansätze der Literatur gestellt.

Die Wahl fiel auf Tabulex, weil es nach Auskunft des Herstellers an über 1200 Schulen in Deutschland erfolgreich eingesetzt wird und damit von praktischer Relevanz ist. Zudem ist, im Gegensatz zu vielen anderen Angeboten, ein ausführliches Handbuch und eine kostenfreie Demoversion erhältlich. Außerdem wird Tabulex bereits seit 1991 am Markt angeboten und ist daher als eine sehr ausgereifte Software zu bezeichnen.

### 3.3 Aspekte der Modellierung des Problems

#### 3.3.1 Aspekte der Modellierung der Unterrichtstage und der Schulstunden eines Unterrichtstags

Der Unterricht wird auf eine festgelegte Anzahl an Unterrichtstagen verteilt. Alle Unterrichtstage bilden zusammen eine Unterrichtswoche.

Jeder Unterrichtstag wird in eine festgelegte Anzahl an Schulstunden aufgeteilt. Diese ist an jedem Unterrichtstag gleich. Die Kombination aus Unterrichtstag und Schulstunde wird im Folgenden „Zeitraum“ genannt. Somit ergibt sich ein festes Zeitraster, in das die Unterrichtsstunden eingeplant werden sollen.

*Die Unterrichtswoche an der Leibniz-Schule umfasst fünf Unterrichtstage. Es wird von Montag bis Freitag unterrichtet. Jeder Unterrichtstag ist in zehn Schulstunden aufgeteilt, wodurch ein Zeitraster von 50 Zeiträumen entsteht.*

Die Schulstunden eines Unterrichtstags können verschiedenen Zeitfenstern zugeordnet werden.

*Die ersten sieben Schulstunden eines Unterrichtstags werden dem Zeitfenster „Vormittag“, die restlichen dem „Nachmittag“ zugeordnet. Zusätzlich bilden die sechste und siebte Schulstunde eines Unterrichtstags das Zeitfenster „Mittagspause“.*

---

<sup>33</sup>Vgl. ZI Soft (2007)

Im Rahmen des Modellansatzes dieser Arbeit werden die Unterrichtstage und die Schulstunden separat abgebildet, wie unter anderem auch bei Ostermann und de Werra (1982), Valouxis und Housos (2003) oder Birbas et al. (2008). In der Literatur ist es aber auch üblich, stattdessen die Zeiträume, also die Kombination von Unterrichtstagen und Schulstunden, zu modellieren, wie zum Beispiel bei Drexl und Salewski (1997), Alvarez-Valdes et al. (2002a) oder Haase et al. (2004).

Möglichkeiten zur Abbildung von Zeitfenstern werden dort aber eher selten beschrieben, wie bspw. bei Deris et al. (2000) und Avella und Vasil'ev (2005). Dort findet, ähnlich wie bei Tabulex, eine Einteilung des Unterrichtstags in Vor- und Nachmittag statt.<sup>34</sup>

Innerhalb der Ansätze von Costa (1994) und Daskalaki und Birbas (2005) sollen die Lehrer und Schüler an einer Mittagspause teilnehmen. Dazu werden die Schulstunden zur Mittagszeit einem Zeitfenster zugeordnet. Innerhalb dessen sollen für jeden Lehrer und Schüler an mindestens einer Schulstunde kein Unterricht eingeplant werden, um so genug Zeit zur Verpflegung zu schaffen.<sup>35</sup>

### 3.3.2 Aspekte der Modellierung der Pausen

Zwischen den Schulstunden eines Unterrichtstags werden Pausen eingeplant. Die Pausen sollen es den Schülern und Lehrern unter anderem ermöglichen, den Raum zu wechseln, Verpflegung zu sich zu nehmen und sich ein wenig zu erholen. Für jede Pause ist festzulegen, wie lange diese dauert und welchen Zweck sie zu erfüllen hat.

- **Dauer der Pause**

Die Pausen eines Unterrichtstags können unterschiedlich lang dauern.

*An der Leibniz-Schule dauern die erste, dritte, fünfte, siebte und neunte Pause jeweils fünf Minuten, die restlichen Pausen jeweils 15 Minuten.*

Die Dauer einer Pause ist relevant, wenn bspw. der Wechsel zwischen zwei Standorten einer Schule nicht innerhalb einer Pause bewältigt werden kann.

*An der Leibniz-Schule kann der Wechsel von einem Unterrichtsraum im Hauptgebäude zur Schwimhalle nicht in einer Fünf-Minuten-Pause bewältigt werden, da hierfür zehn Minuten*

---

<sup>34</sup> Vgl. Deris et al. (2000, S. 825), Avella und Vasil'ev (2005, S. 499f) und ZI Soft (2007, S. 29ff).

<sup>35</sup> Vgl. Costa (1994, S. 100ff), sowie Daskalaki und Birbas (2005, S. 118f).

*benötigt werden.*

- **Zweck der Pause**

Für jede Pause wird festgelegt, ob es sich um eine kurze oder eine lange Pause handelt.

- Die kurze Pause dauert meist nur wenige Minuten und dient vor allem dazu, dass die Schüler und Lehrer einen anderen nahegelegenen Unterrichtsraum aufsuchen können.
- Die lange Pause dauert dementsprechend länger und dient vornehmlich der Erholung und Verpflegung.

Eine Unterscheidung zwischen langer und kurzer Pause ist relevant, wenn bspw. in einer Schulklasse zwei Unterrichtsstunden eines Fachs aufeinanderfolgend eingeplant werden sollen. Es ist pädagogisch sinnvoll, dass nur eine kurze Pause zwischen den Unterrichtsstunden eingeplant wird. Die Unterbrechung der Konzentration durch eine lange Pause hebt den ursprünglich erwünschten Effekt eines durch einen Unterrichtsblock entstehenden flüssigen und durchgängigen Unterrichts nahezu auf.

*An der Leibniz-Schule sind die erste, dritte, fünfte, siebte und neunte Pause als kurze Pausen gekennzeichnet, die übrigen als lange Pausen.*

In der Literatur existieren nur wenige Modellierungsansätze innerhalb derer Pausen abgebildet werden. Wie bereits in Abschnitt 3.3.1 erläutert, bilden sowohl Costa (1994), als auch Daskalaki und Birbas (2005) Zeitfenster ab, innerhalb derer jeder Lehrer und Schüler an einer Mittagspause teilnehmen kann. Eine Pause wird allerdings nicht explizit modelliert. Es wird nur sichergestellt, dass für jeden Lehrer und Schüler an mindestens einer Schulstunde des Zeitfensters kein Unterricht stattfindet.

Bei Hilbert-Siekman (2001) wird angenommen, dass der Wechsel zwischen den verschiedenen Standorten einer Schule nur in einer langen Pause vollzogen werden kann. Es soll dementsprechend sichergestellt werden, dass kein Schüler und kein Lehrer in einer kurzen Pause einen solchen Wechsel vornehmen muss.<sup>36</sup>

Dem Wissen des Autors nach ist der Ansatz von Hilbert-Siekman (2001) das einzige Modell des Course Scheduling, in dem zwischen langen und kurzen Pausen unterschieden wird. Die Dauer einer Pause wird in diesem Ansatz, ebenso wie in der Planungssoftware Tabulex, aber auch nicht abgebildet.

---

<sup>36</sup> Vgl. Hilbert-Siekman (2001, S. 150f).

Bei der Anwendung von Tabulex wird indirekt die Möglichkeit eingeräumt, zwischen den Arten der Pausen zu unterscheiden. So kann der Anwender die zulässigen Startzeitpunkte eines Unterrichtsblocks festlegen, um so zu verhindern, dass er durch eine lange Pause unterbrochen wird.<sup>37</sup>

### 3.3.3 Aspekte der Modellierung der Unterrichtsräume

Jede Schule verfügt über verschiedene Räumlichkeiten, in denen der Unterricht stattfinden kann. Dazu gehören nicht nur die Unterrichtsräume innerhalb eines Gebäudes, sondern auch Turn- und Schwimmhallen oder Sportplätze. Im folgenden werden alle Orte „Unterrichtsräume“ genannt, an denen der Unterricht einer Schule vermittelt wird.

Ein Unterrichtsraum kann teilbar sein. Das bedeutet, dass bspw. durch eine Trennwand ein großer Unterrichtsraum in zwei kleine aufgeteilt werden kann, wodurch dort zwei Unterrichtsstunden unabhängig voneinander gleichzeitig stattfinden können. Dazu ist allerdings für jeden Unterrichtsraum dessen Kapazität zu jedem Zeitraum der Unterrichtswoche festzulegen. Die Kapazität kann relativ oder absolut angegeben werden.

Weiterhin muss für jeden Unterrichtsraum dessen Standort und dessen Typ modelliert werden.

- **Kapazität eines Unterrichtsraums**

- **Relative Kapazität**

- Die relative Kapazität wird in Prozent angegeben. Sowohl in teilbaren als auch in unteilbaren Unterrichtsräumen ist die maximal zur Verfügung stehende Kapazität zu jedem Zeitraum 100%. Ist dieser bspw. gesperrt, dann beträgt die Kapazität zu diesem Zeitraum 0%.

*Der Unterrichtsraum N01 ist nicht teilbar. Es kann nur eine Schulklasse darin unterrichtet werden. Die relative Kapazität beträgt demnach zu fast allen Zeiträumen 100%. Allerdings wird dieser Unterrichtsraum montags von der Nachbarschule genutzt. Somit beträgt die Kapazität des Unterrichtsraums N01 nur 0%.*

*Die Dreifach-Turnhalle der Leibniz-Schule ist zu jedem Zeitraum vollständig verfügbar und in bis zu drei kleine Turnhallen teilbar. In der Jahrgangsstufe 2 haben nur wenige Schüler das Schulfach **Handball** gewählt, weshalb deren Kapazitätsbedarf maximal 66% der Turnhalle*

---

<sup>37</sup> Vgl. ZI Soft (2007, S. 29f).

*beträgt. Es wäre also möglich, eine weitere Schulklasse gleichzeitig einzuplanen, sofern sie in dem verbleibenden Drittel der Turnhalle unterrichtet werden könnte.*

– **Absolute Kapazität**

Vielfach ist es aber sinnvoll, die Kapazität absolut anzugeben. Dafür kann bspw. die Zahl der Sitze herangezogen werden.

*Jede Schulklasse der Leibniz-Schule ist verpflichtet, die Schulmesse zu besuchen. Die Kapelle umfasst aber nur 50 Sitzplätze, so dass es nicht möglich ist, einen gemeinsamen Gottesdienst für alle Schüler abzuhalten. Der Kapazitätsbedarf der Schulklasse 1a beträgt 27 Sitzplätze und der der 1b 22 Sitzplätze. Diese beiden Schulklasse könnten gemeinsam die Schulmesse besuchen.*

• **Mehrere Schulstandorte**

Eine Schule kann auf mehrere Standorte verteilt sein. Das bedeutet, dass die Lehrer und Schüler mehrfach dazu gezwungen sein könnten, im Laufe eines Schultags zwischen den Standorten zu wechseln. Allerdings kann nicht jeder Wechsel in jeder Pause bewältigt werden, weil diese in der Regel unterschiedlich lange dauern. Das würde dann dazu führen, dass für ihn wertvolle Unterrichtszeit verloren geht. Zu modellieren sind demnach alle Dauern von Standortwechseln, die nicht in jeder Pause unabhängig von deren Dauer durchgeführt werden können.

*Neben dem Hauptgebäude sind die Schwimmhalle und der Physik-Raum der Nachbarschule weitere Standorte der Leibniz-Schule. Die Strecke vom Hauptgebäude zur Schwimmhalle kann in zehn Minuten zurückgelegt werden und ist damit nur in den 15-Minuten-Pausen zu bewältigen. Der Physik-Raum der Nachbarschule liegt auf halbem Weg und ist auch in den Fünf-Minuten-Pausen zu erreichen.*

• **Raumtypen**

Das Problem der Unterrichtsstundenzuordnung wird durch ein hierarchisches Dekompositionsverfahren in mehrere Teilmodelle zerlegt, wie in Kapitel 3.4.1 ausführlich dargestellt wird. Diese werden zwei Stufen zugeordnet. Nur in

den Teilmodellen der zweiten Stufe werden die tatsächlich vorhandenen Unterrichtsräume abgebildet. In denen der ersten Stufe werden aggregierte Raumtypen modelliert, um die Größe des Modells zu reduzieren. Dazu werden Unterrichtsräume, die am gleichen Standort die gleichen Ausstattungsmerkmale aufweisen, zusammengefasst. Die jeweiligen Kapazitäten werden pro Zeitraum aggregiert.

*Die Unterrichtsräume N01, N02, N03, N04 und N05 befinden sich alle im Hauptgebäude und unterscheiden sich bezüglich der Ausstattungsmerkmale nicht. Sie sind austauschbar und werden zum Raumtyp „Normale Unterrichtsräume“ zusammengefasst. Dieser Raumtyp verfügt im Zeitraum „Dienstag, Erste Schulstunde“ über eine Kapazität von 500%, da alle fünf Unterrichtsräume vollständig verfügbar sind.*

*Der Physik-Raum befindet sich zwar am gleichen Standort wie die normalen Unterrichtsräume. Allerdings unterscheidet sich dieser von den normalen Unterrichtsräumen, da er mit speziellen Materialien für den Physik-Unterricht ausgestattet ist.*

*Der Physik-Raum im Hauptgebäude und der in der benachbarten Schule können nicht zu einem Raumtyp zusammengefasst werden, da sie sich an unterschiedlichen Standorten befinden.*

Die Bildung von Raumtypen ist in Verbindung mit teilbaren Unterrichtsräumen nicht unproblematisch, weil die aggregierte Kapazität zu Lösungen führen kann, die keine konsistente Disaggregation mehr erlauben.

*Die Leibniz-Schule und die Nachbarschule tragen wöchentliche Basketball-Spiele aus, die in beiden Turnhallen der Leibniz-Schule ausgetragen werden. Wenn diese zu einem Raumtyp zusammengefasst werden, dann beträgt dessen zur Verfügung stehende Kapazität stets 200%. Es sollen drei Basketball-Spiele ausgetragen werden, die jeweils 66% der Kapazität einer Turnhalle in Anspruch nehmen. Theoretisch wäre es möglich, diese gleichzeitig in den beiden Turnhallen stattfinden zu lassen, da nur 198% der Kapazität genutzt werden würde. Praktisch würde dies aber bedeuten, dass ein Basketball-Spiel aufgeteilt und gleichzeitig in zwei Hallen stattfinden müsste.*

Nicht in allen Ansätzen der Literatur werden Unterrichtsräume modelliert. Bei Birbas et al. (2008) wird angenommen, dass sie den jeweiligen Unterrichtsstunden bereits zugeordnet sind.<sup>38</sup> Dadurch reduziert sich die Betrachtung auf die Zuordnung von Unterrichtsstunden zu Zeiträumen der Unterrichtswoche.

Im Regelfall wird in der Literatur relative Kapazität abgebildet.<sup>39</sup> Modellierungen von absoluten Kapazitäten werden dem Wissen des Autors nach nur bei Yu und Sung (2002) und Socha et al. (2002) beschrieben.<sup>40</sup>

Vielfach werden in der Literatur mehrere gleichartige Unterrichtsräume zu Raumtypen zusammengefasst.<sup>41</sup> Da keine teilbaren Unterrichtsräume beschrieben werden, ist dies im Gegensatz zum Ansatz in dieser Arbeit unproblematisch.

Nur wenige Ansätze bieten die Möglichkeit zur Abbildung von mehreren Standorten einer Institution, wie bspw. bei Costa (1994, S. 99), Hilbert-Siekman (2001, S. 150f) oder Yu und Sung (2002, S. 706).

Die Planungssoftware Tabulex beschränkt die Betrachtung auf einen Standort. Dafür können allerdings zwei oder mehr Unterrichtsstunden in einem Unterrichtsraum stattfinden, weil diese als teilbar modelliert sind.<sup>42</sup>

Für jeden Unterrichtsraum bzw. Raumtyp kann die Nebenbedingung gelten, dass dessen Kapazität nicht überschritten werden soll. Die Anzahl der Unterrichtsstunden, die darin gleichzeitig stattfinden können, ist somit limitiert. Mit Hilfe dieser Nebenbedingung soll verhindert werden, dass von einem Unterrichtsraum zu einem oder mehreren Zeiträumen der Unterrichtswoche mehr Kapazität in Anspruch genommen wird, als überhaupt vorhanden ist.

*Der Unterrichtsraum N01 verfügt zu jedem Zeitraum über eine relative Kapazität von 100%. Eine Unterrichtsstunde in Englisch der Schulklasse 1a nimmt 100% von N01 in Anspruch. Dementsprechend kann keine zweite Unterrichtsstunde, deren Kapazitätsbedarf 0% übersteigt, in diesem Unterrichtsraum zum gleichen Zeitraum wie die Englisch-Stunde eingeplant werden, ohne die Nebenbedingung zu verletzen.*

Sofern von den Ansätzen abgesehen wird, in denen keine Unterrichtsräume modelliert sind, existiert in jedem Modell der Literatur sowie bei Tabulex ein entsprechendes Nebenbedingungssystem zur Einhaltung der Kapazität. Die

---

<sup>38</sup> Vgl. bspw. Valouxis und Housos (2003, S. 1557) und Birbas et al. (2008, S. 4).

<sup>39</sup> Vgl. bspw. Costa (1994, S. 99ff) und Avella und Vasil'ev (2005, S. 500f).

<sup>40</sup> Vgl. Yu und Sung (2002, S. 705) und Socha et al. (2002, S. 717).

<sup>41</sup> Stellvertretend für die vielen Ansätze, in denen Raumtypen modelliert sind, seien Dimopoulou und Miliotis (2001, S. 206) und Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 789) genannt.

<sup>42</sup> ZI Soft (2007, S. 29f).

Varianten der Formulierung hierfür sind zahlreich.<sup>43</sup>

### 3.3.4 Aspekte der Modellierung der Lehrveranstaltungen

Der Unterricht wird in Lehrveranstaltungen durchgeführt. Für jede Lehrveranstaltung ist zu modellieren, wie viele Unterrichtsstunden sie umfasst und welchen räumlichen Kapazitätsbedarf sie verursacht.

- **Umfang von Lehrveranstaltungen**

Jede Lehrveranstaltung umfasst mindestens eine Unterrichtsstunde, die jeweils immer genau so lange dauern wie eine Schulstunde.

*Die Lehrveranstaltung **Mathematik** der Schulklasse 1a umfasst drei Unterrichtsstunden. Jede der Unterrichtsstunden dauert genauso lang wie eine Schulstunde.*

- **Räumlicher Kapazitätsbedarf der Lehrveranstaltungen**

Jede Lehrveranstaltung nimmt einen bestimmten Teil der Kapazität eines Unterrichtsraums in Anspruch, der entsprechend abzubilden ist.

*Der Schulklasse 1a gehören 27 Schüler an. Jede Lehrveranstaltung, die die Schüler zu besuchen haben, nimmt in einem Unterrichtsraum einen Teil von dessen Kapazität in Anspruch.*

*Die Schulklasse muss an der Lehrveranstaltung **Mathematik** teilnehmen, die im Unterrichtsraum N01 stattfinden soll. Dessen Kapazität ist relativ modelliert und beträgt immer 100%. Da der Unterrichtsraum nicht teilbar ist und deshalb nur eine Unterrichtsstunde gleichzeitig beherbergen kann, beträgt der räumliche Kapazitätsbedarf der Lehrveranstaltung **Mathematik** 100%.*

*Die Sporthalle ist teilbar. In ihr können bis zu drei Lehrveranstaltungen parallel stattfinden. Die Lehrveranstaltung **Sport**, die gemeinsam mit der Schulklasse 1b abgehalten wird, nimmt 66% der Kapazität der Sporthalle in Anspruch.*

*Im Gegensatz zur Sporthalle und den normalen Unterrichtsräumen wird die Kapazität der Kapelle absolut modelliert. Sie verfügt über 50 Sitzplätze, wovon 27 durch die Schulklasse 1a belegt werden.*

---

<sup>43</sup> Vgl. bspw. Avella und Vasil'ev (2005, S. 500), Daskalaki et al. (2004, S. 125) und DiGaspero und Schaerf (2006, S. 8).

In Kapitel 2 wird erläutert, dass das Problem der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen auf Basis des Course Scheduling in zwei sequentiell zu lösende Teilprobleme dekomponiert wird.<sup>44</sup> Das erste Teilproblem ist die Unterrichtsstundenverteilung, bei der Lehrveranstaltung, Schulklasse bzw. Kurs und Lehrer gegenseitig einander zugeordnet werden.

*In der Schulklasse 1a werden die Schüler von Lehrer de Gaulle in Französisch unterrichtet.*

Allerdings muss in der Regel in einem Stundenplan an einer allgemeinbildenden Schule mehr als nur der Unterricht berücksichtigt werden.

*Alle Physik-Lehrer nehmen jede Woche an einer einstündigen Fortbildung teil, die in einem Physik-Raum an der Leibniz-Schule stattfindet.*

In diesem Beispiel werden mehrere Lehrer, aber keine Schulklassen einer Lehrveranstaltung zugeordnet. Obwohl es sich bei dieser Lehrveranstaltung nicht um Unterricht handelt, muss aber dennoch sowohl die zeitliche Belastung der Lehrer, als auch möglicherweise die Nutzung eines Physik-Raums in einem Stundenplan berücksichtigt werden.

*Die Physik-Lehrer haben beschlossen, ihre Fortbildung in einem Restaurant stattfinden zu lassen, um keinen der Physik-Räume zu blockieren.*

Die Lehrveranstaltung nimmt somit keinen Unterrichtsraum an der Schule in Anspruch. Der räumliche Kapazitätsbedarf beträgt dementsprechend 0%. Die zeitliche Belastung der Lehrer bleibt aber bestehen.

Einer Lehrveranstaltung können auch nur Schulklassen zugeordnet werden.

*Die Schulklassen 1a und 1b besuchen gemeinsam die Schulmesse, die vom örtlichen Gemeindepfarrer gelesen wird.*

Die Schulmesse ist demnach eine Lehrveranstaltung, die in der Planung für die beiden Schulklassen berücksichtigt werden muss.

Aus den drei bisher beschriebenen Beispielen darf aber nicht geschlossen werden, dass immer mindestens ein Lehrer oder eine Schulklasse einer Lehrver-

---

<sup>44</sup>Vgl. S. 10

anstaltung zugeordnet sind.

*Die benachbarte Schule nutzt viermal in der Woche einen Physik-Raum der Leibniz-Schule.*

Obwohl keine Schüler oder Lehrer der Leibniz-Schule an der Lehrveranstaltung teilnehmen, beeinflusst diese deren Stundenplanerstellung, weil der Physik-Raum viermal in der Unterrichtswoche nicht genutzt werden kann. Um welche Zeiträume es sich dabei handelt, wird unter Umständen erst während des Optimierungsprozesses festgelegt.

Aus den obigen Beispielen kann abgeleitet werden, dass im Rahmen der Unterrichtsstundenverteilung einer Lehrveranstaltung nicht immer zwangsläufig Elemente wie Lehrer oder Schulklassen bzw. Kurse zugeordnet werden.

Mittels Lehrveranstaltungen wird alles abgebildet, was einen personellen, zeitlichen oder räumlichen Bedarf an einer Schule verursacht und deshalb für die Erstellung eines Stundenplans relevant ist. Der Unterrichtsinhalt, also ob bspw. **Französisch** oder **Physik** unterrichtet wird, ist unerheblich.

Das Element „Lehrveranstaltung“ ist ganz bewusst so allgemein konstruiert, damit es flexibel an die unterschiedlichsten stundenplanrelevanten Gegebenheiten einer Schule angepasst werden kann.

In der Literatur werden die Lehrveranstaltungen und Unterrichtsstunden meistens nach ähnlichen Prinzipien wie in dieser Arbeit modelliert.<sup>45</sup> Es existieren einige Varianten, wie zum Beispiel, dass eine Unterrichtsstunde länger als eine Schulstunde dauern kann.<sup>46</sup>

Die Software Tabulex nimmt die Unterrichtsstundenverteilung vor, indem durch sogenannte „Bindungen 1. und 2. Ranges“ den Fächern die Schulklassen und Lehrer zugeordnet werden.<sup>47</sup> Für die Fächer kann die Anzahl der zu absolvierenden Unterrichtsstunden festgelegt werden.<sup>48</sup> Weitere Aussagen über die Modellierung der Lehrveranstaltungen, bspw. bezüglich der Abbildung verschiedenen langer Unterrichtstuentypen, können nicht getroffen werden.

Wenn das Teilproblem der Unterrichtsstundenverteilung gelöst ist, dann sollen im Rahmen der Unterrichtsstundenzuordnung die Lehrveranstaltungen eingeplant werden. Dafür können verschiedene **Nebenbedingungen** berücksichtigt werden.

**# Alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen vollständig eingeplant werden.**

---

<sup>45</sup> Als ein typisches Beispiel wird auf Avella und Vasil'ev (2005, s. 499) verwiesen.

<sup>46</sup> Vgl. bspw. Hilbert-Siekmann (2001, S. 145) und Daskalaki und Birbas (2005, S. 110ff).

<sup>47</sup> Vgl. ZI Soft (2007, S. 34-51).

<sup>48</sup> Vgl. ZI Soft (2007, S. 29-32).

Eine Lehrveranstaltung wird in einer festgelegten Anzahl an Unterrichtsstunden vermittelt, die im Regelfall alle eingeplant werden sollen.

*Die Lehrveranstaltung **Geschichte** der Schulklasse 1a umfasst drei Unterrichtsstunden. Alle Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung sollen einem Zeit- und einem Unterrichtsraum zugeordnet werden.*

Diese Nebenbedingung ist in jedem Ansatz, sowohl in der Literatur, als auch in der Software Tabulex modelliert.<sup>49</sup>

# **Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt an einem bestimmten Unterrichtstag stattfinden.**

Alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen nach Möglichkeit einem vorher festgelegten Unterrichtstag zugeordnet werden.

*Die Lehrveranstaltung „Physik-Fortbildung für Lehrer“ soll an einem Donnerstag stattfinden.*

# **Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt zu einer bestimmten Schulstunde stattfinden.**

Alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen zu einer vorher festgelegten Schulstunde stattfinden.

*Die beiden Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung **Geschichte** der Schulklasse 1a sollen an unterschiedlichen Unterrichtstagen jeweils der zweiten Schulstunde zugeordnet werden.*

Im hier entwickelten Ansatz wird eine getrennte Bevorzugung von Unterrichtstagen und Schulstunden modelliert. In der Literatur werden hingegen Nebenbedingungen beschrieben, die beides miteinander kombinieren. Dadurch wird die Bevorzugung eines oder mehrerer Zeiträume abgebildet.<sup>50</sup> Die Stundenplansoftware Tabulex ermöglicht es nicht, Bevorzugungen von Schulstunden, Unterrichtstagen und Zeiträumen getrennt voneinander bei der Einplanung von Lehrveranstaltungen abzubilden.

---

<sup>49</sup> Vgl. bspw. Alvarez-Valdes et al. (2002a, S. 514), Arntzen und Lokketangen (2005, S. 66) und Chiarandini et al. (2006, S. 406).

<sup>50</sup> Vgl. bspw. Yu und Sung (2002, S. 705), Martin (2004, S. 461) und Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 792).

**# Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt in einem bestimmten Unterrichtsraum stattfinden.**

Alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen einem vorher festgelegten Unterrichtsraum zugeordnet werden.

*Alle Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung **Mathematik** der Schulklasse 1a sollen in deren Unterrichtsraum N01 stattfinden.*

Es ist dem Autor nicht bekannt, ob in den bisherigen Lösungsansätzen der Literatur ähnliche Nebenbedingungen beschrieben werden. In der Stundenplansoftware Tabulex ist sie hingegen implementiert. Es ist möglich abzubilden, dass für eine Lehrveranstaltung ein Unterrichtsraum bevorzugt zugeordnet werden soll.<sup>51</sup>

**# Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen den geeignetsten Zeiträumen zugeordnet werden.**

Nicht jeder Zeitraum ist für die Einplanung einer Lehrveranstaltung gleich geeignet. Es wird daher die Möglichkeit gegeben, die Zeiträume einer Unterrichtswoche abgestuft zu bewerten. Die Anzahl der Stufen ist prinzipiell unbeschränkt. Allerdings ist es aus praktischen Gründen sinnvoller, die Anzahl der Stufen auf fünf bis zehn zu beschränken, da dadurch der Anwender leichter den Überblick wahren kann.

*Die Unterrichtswoche der Leibniz-Schule umfasst 50 Zeiträume. Für die Lehrveranstaltung **Mathematik** der Schulklasse 1a werden die Zeiträume nach dem Notensystem der Schule bewertet. Am ungeeignetsten sind die letzten drei Schulstunden eines jeden Unterrichtstags. Sie erhalten demnach die „Note“ 6. Geeigneter sind alle vierten bis sechsten Schulstunden für die Einplanung. Sie werden mit einer „3“ bewertet. Eine „1“ erhalten die ersten drei Schulstunden, da sie die geeignetsten sind.*

Es ist unerheblich, welche Maßstäbe zur Bewertung der Zeiträume im Hinblick auf eine Lehrveranstaltung angelegt werden. In Ansätzen der Literatur mit vergleichbaren Nebenbedingungen wird daher allgemein der ab-

---

<sup>51</sup> Vgl. ZI Soft (2007, S. 28f).

strakte Nutzen einer Einplanung angegeben.<sup>52</sup> Darin fließen zum Beispiel die zeitlichen Präferenzen der Lehrer, aber auch den Unterrichtsraum betreffende Aspekte mit ein. Im Rahmen dieser Arbeit wird allerdings zwischen zeitlichen und räumlichen Aspekten scharf getrennt, um es zu ermöglichen, unterschiedliche Bewertungsskalen für Unterrichtsräume und Zeiträume zu entwickeln.

# **Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen den geeignetsten Unterrichtsräumen zugeordnet werden.**

Analog zum vorangegangenen Punkt kann für jede Lehrveranstaltung die Eignung der Unterrichtsräume modelliert werden.

*Der Klassenraum N01 der Schulklasse 1a ist am geeignets-  
ten zur Unterrichtung ihrer Lehrveranstaltung in Geschichte.  
Weniger geeignet sind alle anderen normalen Unterrichts-  
räume. Die restlichen Möglichkeiten sind völlig ungeeignet.*

# **Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen nicht bestimmten Kombinationen aus Zeitraum und Unterrichtsraum zugeordnet werden.**

Es soll verhindert werden, dass die Unterrichtsstunden zu bestimmten Zeiträumen in bestimmten Unterrichtsräumen stattfinden. Im Gegensatz zu den beiden vorangegangenen Nebenbedingungen werden hier Kombinationen aus Unterrichtsräumen und Zeiträumen betrachtet. Durch die Trennung können unterschiedliche Bewertungsskalen entwickelt werden. Da mit dieser Nebenbedingung allerdings nur verhindert werden soll, dass ein Unterrichtsraum oder ein Zeitraum genutzt wird, sind keine weiteren Abstufungen notwendig. Daher können Kombinationen aus Unterrichtsräumen und Zeiträumen betrachtet werden, wodurch eine einfachere Nutzung für den Anwender ermöglicht wird.

*Die Lehrveranstaltung Geschichte der Schulklasse 1a soll  
zu keinem Zeitraum in der Schwimmhalle stattfinden.*

In der Literatur werden in zahlreichen Modellansätzen Nebenbedingungen abgebildet, die verhindern sollen, dass eine Lehrveranstaltung jedem Un-

---

<sup>52</sup>Vgl. bspw. Tripathy (1984, S. 1476f), Dimopoulou und Miliotis (2001, S. 206), Haase et al. (2004, S. 88f) und Qualizza und Serafini (2005, S. 164f).

terrichtsraum oder Zeitraum zugeordnet werden kann.<sup>53</sup> Auch in der Planungssoftware Tabulex können Zeiträume und Unterrichtsräume „gesperrt“ werden.<sup>54</sup>

Bis auf die Nebenbedingung, wonach eine Lehrveranstaltung vollständig eingeplant werden sollen, weisen alle in diesem Abschnitt erläuterten Nebenbedingungen Redundanzen auf. Die Nebenbedingungen könnten auch in einer zusammengeführt werden, indem jede Kombination aus Zeitraum und Unterrichtsraum bewertet wird. Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollten dann den am höchsten bewerteten Kombinationen zugeordnet werden.

Allerdings ist diese Vorgehensweise unpraktikabel. An einer Schule kann der Unterricht in mehr als 300 Lehrveranstaltungen, 40 Unterrichtsräumen und 50 Zeiträumen stattfinden. Es wäre ein immenser zeitlicher Aufwand für die Planer, für alle Kombinationen entsprechende Bewertungen zu ermitteln. Daher wird nicht eine umfassende Nebenbedingung formuliert, sondern mehrere, die jeweils auf einen speziellen Planungsaspekt fokussiert sind. Dadurch kann der Überblick leichter gewahrt werden.

Außerdem ist nicht jeder Planungsaspekt für jede Lehrveranstaltung relevant. Vielmehr bedarf es einer individuellen Auswahl und Gestaltung der Nebenbedingungen bzw. ihrer Parameter. Dies soll mit Hilfe folgender Beispiele verdeutlicht werden.

*Die Lehrveranstaltung **Geschichte** der Schulklasse 1a wird unter Berücksichtigung der folgenden Nebenbedingungen eingeplant:*

- *Alle Unterrichtsstunden sollen eingeplant werden.*
- *Die Lehrveranstaltung soll im Unterrichtsraum N01 stattfinden.*
- *Die Lehrveranstaltung soll zu keinem Zeitraum in einem anderen Raumtyp als „Normaler Raum“ stattfinden.*

*Die Einplanung der Lehrveranstaltung **Schulmesse**, 1a wird unter Berücksichtigung folgender Nebenbedingungen vorgenommen:*

- *Alle Unterrichtsstunden sollen eingeplant werden.*
- *Die ersten 4 Schulstunden eines jeden Unterrichtstags sind geeigneter als die restlichen.*
- *Die Lehrveranstaltung soll zu keinem Zeitraum in einem anderen Unterrichtsraum als der Schulkapelle stattfinden.*

---

<sup>53</sup> Vgl. bspw. Ostermann und de Werra (1982, S. 199f), Drexl und Salewski (1997, S. 198) und Badri et al. (1998, S. 306f).

<sup>54</sup> Vgl. ZI Soft (2007, S. 30f).

*Für die Lehrveranstaltung Physik-Fortbildung für Lehrer gilt eine Nebenbedingung:*

- *Alle Unterrichtsstunden sollen eingeplant werden.*

Anhand der Beispiele wird ersichtlich, dass an die Einplanung von Lehrveranstaltungen völlig unterschiedliche Anforderungen gestellt werden können. Dadurch werden die stundenplanrelevanten Charakteristika einer Schule widerspiegelt. Diese sind, wie in Kapitel 2 dargelegt, äußerst vielfältig, weshalb ein Modellierungsansatz offen und flexibel gestaltet sein muss.

Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit die Lehrveranstaltungen sehr allgemein konstruiert. Es obliegt dem Planer, diese zu spezifizieren und damit den Charakteristika der jeweiligen Schule anzupassen.

### **3.3.5 Aspekte der Modellierung der Abhängigkeiten zwischen Lehrveranstaltungen durch abstrakte Bezugsgruppen**

In der Regel können die Lehrveranstaltungen nicht unabhängig voneinander eingeplant werden. Zwischen ihnen bestehen zahlreiche Bezüge, die berücksichtigt werden müssen.

*Die Lehrveranstaltungen, die der Lehrer de Gaulle hält, dürfen nicht gleichzeitig stattfinden. Außerdem sollen sie auf nicht mehr als vier Unterrichtstage verteilt werden.*

Das Beispiel verdeutlicht, dass die Lehrveranstaltungen in Bezug zueinander stehen, da sie abhängig voneinander einzuplanen sind. Um diese Abhängigkeit in einem Modell abzubilden, werden die jeweiligen Lehrveranstaltungen einer „Bezugsgruppe“ zugeordnet.

*Alle Lehrveranstaltungen des Lehrers de Gaulle werden in der Bezugsgruppe Unterricht de Gaulle zusammengefasst.*

Allgemein unterliegt die Zuordnung der Lehrveranstaltungen zu Bezugsgruppen keiner Beschränkung. Eine Bezugsgruppe kann beliebig viele Lehrveranstaltungen umfassen und unterschiedliche Anforderungen an den Stundenplan abbilden. Ebenso kann eine Lehrveranstaltung Teil beliebig vieler Bezugsgruppen sein.

Für jede Bezugsgruppe ist nun festzulegen, welche Nebenbedingungen bei

der Einplanung ihrer Lehrveranstaltungen zu berücksichtigen sind.

*Die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe Unterricht de Gaulle sollen so eingeplant werden, dass nicht mehr als eine Lehrveranstaltung gleichzeitig stattfindet und alle Lehrveranstaltungen auf nicht mehr als vier Unterrichtstage verteilt werden.*

Die Modellierung von Bezugsgruppen oder einem ähnlich allgemeinen Konzept wird in der Literatur dem Wissen des Autors nach nicht beschrieben. Selbstverständlich werden innerhalb der Modelle Möglichkeiten gegeben, um Bezüge zwischen speziellen Lehrveranstaltungen abbilden zu können. Allerdings können dann die Lehrveranstaltungen und Bezugsgruppen einander nicht beliebig zugeordnet werden.

Stellvertretend wird der Ansatz von Avella und Vasil'ev (2005) angeführt. Dieser ermöglicht es ausschließlich, die Bezüge zwischen den Lehrveranstaltungen der Lehrer bzw. der Schulklassen abzubilden.<sup>55</sup> Es werden demnach nur zwei spezielle Ausprägungen von Bezugsgruppen modelliert. Weitere Bezüge können nicht berücksichtigt werden.<sup>56</sup>

*Alle Physik-Lehrveranstaltungen der Leibniz-Schule sollen an nur drei Unterrichtstagen stattfinden.*

Die Modellierung von Avella und Vasil'ev (2005) müsste in diesem Fall um eine spezielle Ausprägung einer Bezugsgruppe erweitert werden. Das gilt für jeden Bezug, der sich nicht mit den bereits modellierten Bezugsgruppen abbilden lässt.

Wenn allerdings die gegenseitige Zuordnung von Lehrveranstaltungen und Bezugsgruppen wie in dem Modellansatz dieser Arbeit flexibel gestaltet wird, dann kann auf die Formulierung spezieller Ausprägungen verzichtet werden.

Außerdem wird dadurch auch verhindert, dass die gleichen Nebenbedingungstypen mehrfach modelliert werden. Ein solcher Typ modelliert bspw. die Forderung, dass nicht mehr als eine Lehrveranstaltung pro Zeitraum eingeplant wird. Avella und Vasil'ev (2005) spezifiziert ihn sowohl für Schulklassen als auch für Lehrer. Würde das Modell um neue spezielle Ausprägungen von Bezugsgruppen erweitert werden, dann müsste der Nebenbedingungstyp jeweils entsprechend angepasst formuliert werden.

Die in der Literatur beschriebenen Modellierungsansätze von Abhängigkei-

---

<sup>55</sup> Vgl. Avella und Vasil'ev (2005, S. 499).

<sup>56</sup> Auch bei Tabulex ist es nur möglich, die Lehrveranstaltungen der Lehrer bzw. Schulklassen in Bezug zueinander zu setzen, vgl. ZI Soft (2007, S. 14-33).

ten zwischen Lehrveranstaltungen sind daher umständlich und unflexibel. Im Gegensatz dazu ermöglicht das Konzept der Bezugsgruppen die Berücksichtigung beliebiger Bezüge zwischen beliebigen Lehrveranstaltungen. Dadurch unterliegt die Abbildung der stundenplanrelevanten Charakteristika von Schulen keiner Beschränkung. Diese Flexibilität bildet eine wichtige Voraussetzung für die Lösung von individuellen Stundenplanproblemen.

Um die Bezüge abbilden zu können, werden die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe unter Berücksichtigung von einer oder mehrerer **Nebenbedingungen** eingeplant. Diese werden im Folgenden näher erläutert.

**# Es sollen mehrere Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe zu einem Zeitraum stattfinden.**

Oftmals ist es notwendig, die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe so einzuplanen, dass diese dem gleichen Zeitraum zugeordnet sind. Innerhalb dieses Ansatzes werden zwei Möglichkeiten vorgegeben, um diese Forderung zu berücksichtigen. Eine davon wird im Folgenden als Unterrichtsband bezeichnet. Es kann nur gebildet werden, wenn zu allen vorgesehenen Zeiträumen exakt die gleiche Anzahl an Unterrichtsstunden eingeplant werden soll.

*Die Schüler der Schulklassen 1a und 1b dürfen wählen, ob sie eine Lehrveranstaltung in Latein oder Französisch besuchen möchten. Je nach Wahl werden die Schüler auf die jeweils dreistündigen Lehrveranstaltungen verteilt. Diese sollen so eingeplant werden, dass an drei verschiedenen Zeiträumen von beiden Lehrveranstaltungen jeweils eine Unterrichtsstunde stattfindet.*

Es sind also insgesamt sechs Unterrichtsstunden auf drei Zeiträume zu verteilen, wobei stets zwei Unterrichtsstunden gleichzeitig stattfinden müssen. In diesem Fall kann ein Unterrichtsband gebildet werden.

*Die Schulverwaltung entschließt sich, die Lehrveranstaltung in Latein um eine zusätzliche Unterrichtsstunde zu erweitern. Die Lehrveranstaltung in Französisch umfasst weiterhin nur drei Unterrichtsstunden. Infolgedessen sollen nun insgesamt sieben Unterrichtsstunden an vier Zeiträumen stattfinden, wobei jeweils nicht mehr als zwei Unterrichtsstunden pro Zeitraum eingeplant werden dürfen.*

In diesem Fall ist eine Parallelgruppe zu bilden. Diese unterliegt nicht der Beschränkung, dass zu allen vorgesehenen Zeiträumen exakt die gleiche Anzahl an Unterrichtsstunden eingeplant werden sollen.

*Jede Schulklasse muss einmal in der Woche die Schulmesse besuchen. Dazu wird eine einstündige Lehrveranstaltung Schulmesse für jede Schulklasse gebildet. Diese werden der Bezugsgruppe Alle Schulmessen zugeordnet. Die Kapelle der Schule bietet nur Platz für zwei Schulklassen. Der Schulpfarrer bietet drei Zeiträume an, zu denen er jeweils eine Messe halten kann. Die Lehrveranstaltungen von Alle Schulmessen können nun entweder auf zwei oder auf drei Zeiträume verteilt werden. Aus diesem Grund wird eine Parallelgruppe geformt. Böte der Schulpfarrer allerdings nur zwei Zeiträume an, dann könnte ein Unterrichtsband gebildet werden.*

Ein Unterrichtsband ist demnach eine spezielle Ausprägung der Parallelgruppe. Mit Hilfe der Unterrichtsblätter kann die Größe eines Modells deutlich reduziert werden, was in dieser Arbeit an einer anderen Stelle ausführlich erläutert wird.<sup>57</sup> Der Blick in die Literatur und auf Tabulex zeigt jedoch, dass nur in wenigen Ansätzen die Möglichkeit gegeben wird, bestimmte Lehrveranstaltungen gleichzeitig stattfinden zu lassen. Bei Birbas et al. (2008) wird deren Anzahl sogar auf zwei beschränkt.<sup>58</sup> Ansätze ohne Beschränkungen werden hingegen bei Schaerf (1999b), Hilbert-Siekmann (2001) und Schimmelpfeng und Helber (2007) beschrieben.<sup>59</sup> Diese Modellierungen tragen den Charakter von Unterrichtsblättern, weil zu jedem Zeitraum die gleiche Anzahl an Unterrichtsstunden einzuplanen sind. Im Rahmen der Anwendung der Stundenplansoftware Tabulex lassen sich mit Hilfe der „Bindungen zweiten Ranges“ Unterrichtsblätter bilden.<sup>60</sup>

#### # Die Anzahl der gleichzeitig stattfindenden Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe soll beschränkt werden.

Im Gegensatz zur vorangegangenen Nebenbedingung sollen nun die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe so eingeplant werden, dass in der Regel nicht mehr als eine gleichzeitig stattfindet.

---

<sup>57</sup> Vgl. Kapitel 4.3.4, S. 81.

<sup>58</sup> Vgl. Birbas et al. (2008, S. 12).

<sup>59</sup> Vgl. Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 793), Schaerf (1999b, S. 369) und Hilbert-Siekmann (2001, S. 141-146).

<sup>60</sup> Vgl. ZI Soft (2007, S. 43-46).

*Alle Schüler der Schulklasse 1a sollen die Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe Geschichte, 1a besuchen. Da sie sich nicht an zwei Orten gleichzeitig aufhalten kann, muss dementsprechend jede weitere Lehrveranstaltung einem anderen Zeitraum zuzuordnen.*

Diese Nebenbedingung ist in den unterschiedlichsten Varianten in jedem dem Autor bekannten Lösungsansatz der Literatur, sowie innerhalb der Software Tabulex zu finden.<sup>61</sup>

Im Rahmen der in dieser Arbeit vorgestellten mathematischen Modellierung wird unterschieden zwischen den Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe, die im Plenum und die nicht im Plenum stattfinden sollen. Zu ersteren gehören die Lehrveranstaltungen, die mit keiner anderen der Bezugsgruppe gleichzeitig stattfinden sollen, weil bspw. alle Schüler einer Schulklasse diese zu besuchen haben. Zu letzteren werden die Lehrveranstaltungen gezählt, die zu mindestens einer anderen der Bezugsgruppe parallel eingeplant werden dürfen bzw. sollen. So werden zum Beispiel die Schüler auf die Lehrveranstaltungen in Latein und Französisch verteilt, die gleichzeitig stattfinden sollen.

**# Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an mehr als einer bestimmten Anzahl von Unterrichtstagen stattfinden.**

*Die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe Unterricht de Gaulle sollen an nicht mehr als vier Unterrichtstagen stattfinden.*

Spezielle Ausprägungen dieser Nebenbedingung für Lehrer finden sich bei Martin (2004), Avella und Vasil'ev (2005) und Schimmelpfeng und Helber (2007).<sup>62</sup> Bei Schimmelpfeng und Helber (2007) wird sie noch ein zweites Mal in einer speziellen Ausprägung beschrieben. Sie bilden sogenannte „Same-Day-Groups“, denen beliebige Lehrveranstaltungen zugeordnet werden dürfen. Diese sollen dann alle an einem Unterrichtstag stattfinden.<sup>63</sup> Hilbert-Siekmann (2001) modelliert eine Variante, indem er die Anzahl der freien Unterrichtstage für Lehrer beschränkt.<sup>64</sup> Im Rahmen der Stundenplan-

---

<sup>61</sup> Vgl. bspw. Tripathy (1980, S. 600), Socha et al. (2002, S. 717) und Daskalaki et al. (2004, S. 124f).

<sup>62</sup> Vgl. Martin (2004, S. 461), Avella und Vasil'ev (2005, S. 500) und Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 793f).

<sup>63</sup> Vgl. Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 794).

<sup>64</sup> Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 144ff).

software Tabulex wird keine spezielle Ausprägung dieses Nebenbedingungstyps berücksichtigt.

- # **Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an weniger als einer bestimmten Anzahl an Unterrichtstagen stattfinden.**

*Die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe Unterricht de Gaulle sollen nicht an weniger als drei Unterrichtstagen stattfinden.*

Interessanterweise finden sich sowohl in der Literatur, als auch im Handbuch der Stundenplansoftware Tabulex keinerlei Hinweise darauf, dass diese oder eine ähnliche Nebenbedingung bereits beschrieben wurde.

- # **Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen an aufeinanderfolgenden Unterrichtstagen stattfinden.**

*Die dreistündige Lehrveranstaltung Mathematik der Schulklasse 1a wird der Bezugsgruppe Mathematik, 1a zugeordnet. Diese soll an aufeinanderfolgenden Unterrichtstagen stattfinden.*

Bei Schimmelpfeng und Helber (2007) wird diese Nebenbedingung im Hinblick auf die Bedürfnisse von Dozenten der Universität Hannover formuliert.<sup>65</sup>

- # **Zwischen den Unterrichtstagen, an denen die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe stattfinden, sollen nicht weniger als eine festgelegte Anzahl an Unterrichtstagen eingeplant werden, an denen keine Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe durchgeführt werden.**

*Zwischen den Unterrichtstagen, an denen mindestens eine Unterrichtsstunde der Bezugsgruppe Mathematik, 1a eingeplant ist, soll mindestens ein freier Unterrichtstag stattfinden.*

Wiederum findet sich nur bei Schimmelpfeng und Helber (2007) eine Variante dieser Nebenbedingung. Sie ermöglichen damit den Dozenten der Uni-

---

<sup>65</sup> Vgl. Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 794).

versität Hannover, dass die Unterrichtstage, an denen sie zu lehren haben, nicht aufeinanderfolgen.<sup>66</sup>

- # **Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe soll nicht sowohl am letzten als auch am ersten Unterrichtstag der Unterrichtswoche stattfinden.**

*Der erste Unterrichtstag der Unterrichtswoche an der Leibniz-Schule ist der Montag, der letzte der Freitag. Die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe Mathematik, 1a soll höchstens an einem der beiden Tage stattfinden.*

Die Software Tabulex ermöglicht es, für bestimmte Lehrveranstaltungen diese Nebenbedingung zu formulieren.<sup>67</sup> In der Literatur hingegen wird keine ähnliche Nebenbedingung beschrieben.

- # **Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an mehr als einer bestimmten Anzahl an Schulstunden eines Unterrichtstags stattfinden.**

*Die Lehrveranstaltungen, die die Schulklasse 1a zu absolvieren hat, werden der Bezugsgruppe Unterricht 1a zugeordnet. Ihre Lehrveranstaltungen soll nicht an mehr als sieben Schulstunden pro Unterrichtstag stattfinden.*

Die Beschränkung, dass pro Tag nur ein Teil der Schulstunden genutzt werden soll, findet sich an zahlreichen Stellen der Literatur und im Handbuch der Stundenplansoftware Tabulex. Die Nebenbedingungen sind für Lehrer<sup>68</sup>, Schulklassen<sup>69</sup> und Lehrveranstaltungen<sup>70</sup> entsprechend angepasst.

- # **Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an weniger als einer bestimmten Anzahl an Schulstunden stattfinden.**

*Die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe Unterricht 1a*

---

<sup>66</sup> Vgl. Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 794).

<sup>67</sup> Vgl. ZI Soft (2007, S. 26f).

<sup>68</sup> Vgl. bspw. Abramson (1991, S. 104), Schaerf (1999b, S. 394), Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 793) und ZI Soft (2007, S. 18).

<sup>69</sup> Vgl. bspw. Hilbert-Siekmann (2001, S. 152f), Avella und Vasil'ev (2005, S. 499) und ZI Soft (2007, S. 21).

<sup>70</sup> Vgl. bspw. Avella und Vasil'ev (2005, S. 499), ZI Soft (2007, S. 26f) und Birbas et al. (2008, S. 12).

*sollen an nicht weniger als fünf Schulstunden pro Unterrichtstag stattfinden.*

Diese Nebenbedingung wird in vielen Lösungsansätzen beschrieben. Wiederum wird unterschieden, ob eine Mindestanzahl an eingeplanten Schulstunden pro Tag für Lehrer<sup>71</sup>, Schulklassen<sup>72</sup> oder Lehrveranstaltungen<sup>73</sup> einzuhalten ist.

- # **Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an mehr als einer bestimmten Anzahl an Schulstunden innerhalb einer Zeitspanne stattfinden.**

*Innerhalb einer Zeitspanne von sieben Schulstunden eines Unterrichtstags sollen nicht an mehr als fünf eine Lehrveranstaltung des Lehrers de Gaulle stattfinden. Das bedeutet, dass innerhalb der sieben Schulstunden mindestens zwei Freistunden eingeplant werden sollen.*

In der Literatur wird diese Nebenbedingung nur bei Schimmelpfeng und Helber (2007) beschrieben. Sie passen sie allerdings für Dozenten an, um deren Unterrichtsstunden über den Unterrichtstag zu verteilen.<sup>74</sup>

- # **Zwischen den Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe soll nicht mehr als eine festgelegte Anzahl an Freistunden pro Unterrichtstag und -woche eingeplant werden.**

Eine Freistunde ist eine Schulstunde eines Unterrichtstags, an der die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe nicht stattfinden. Allerdings muss sowohl davor als auch danach jeweils mindestens eine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe eingeplant sein. Im deutschen Sprachgebrauch existieren viele unterschiedliche Bezeichnungen, wie bspw. Spring- oder Hohlstunde.

*Für Lehrer de Gaulle sollen nicht mehr als zwei Freistunden pro Unterrichtstag und sechs pro Unterrichtswoche eingeplant werden.*

*Die Schulklassen 1a besteht aus minderjährigen Schülern, die aus versicherungstechnischen Gründen nicht unbeaufsichtigt sein dürfen. Deshalb müssen die von ihnen zu besuchenden*

<sup>71</sup> Vgl. bspw. Schaerf (1999b, S. 394) und ZI Soft (2007, S. 18).

<sup>72</sup> Vgl. bspw. Hilbert-Siekmann (2001, S. 152f) und ZI Soft (2007, S. 21).

<sup>73</sup> Vgl. bspw. Avella und Vasil'ev (2005, S. 499) und ZI Soft (2007, S. 26f).

<sup>74</sup> Vgl. Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 793).

*Lehrveranstaltung aufeinanderfolgend an jedem Unterrichtstag stattfinden. Dementsprechend dürfen keine Freistunden eingeplant werden.*

*Die beiden Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe **Geschichte**, 1a soll in einer einer Doppelstunde in direkter zeitlicher Folge unterrichtet werden, weshalb keine Freistunden erlaubt sein sollen.*

Mit dieser Nebenbedingung werden zwei verschiedene Planungsaspekte zusammengeführt, die in der Literatur getrennt betrachtet werden. Der Aspekt der Limitierung der Freistunden pro Unterrichtstag und -woche wird speziell für Lehrer bspw. bei Hilbert-Siekmann (2001) und ZI Soft (2007) berücksichtigt.<sup>75</sup> Deutlich zahlreicher sind hingegen die Nebenbedingungen, die dafür sorgen sollen, dass die Unterrichtsstunden von Lehrern<sup>76</sup>, Schulklassen<sup>77</sup> oder Lehrveranstaltungen<sup>78</sup> aufeinanderfolgend eingeplant werden.

**# Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht unmittelbar vor und nach einer langen Pause stattfinden.**

*Die Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe **Mathematik**, 1a soll in einer Einzel- und einer Doppelstunde unterrichtet werden. Die Doppelstunde soll nur durch eine kurze Pause<sup>79</sup> unterbrochen werden, da eine lange Pause die Konzentration der Lehrer und Schüler nachhaltig beeinträchtigt.*

Diese Problematik wird nur bei Hilbert-Siekmann (2001) aufgegriffen. Er modelliert allerdings in diesem Zusammenhang nicht die langen oder kurzen Pausen, sondern legt fest, wann ein Unterrichtsblock anfangen darf.<sup>80</sup> In der Anwendung der Stundenplansoftware Tabulex wird dies ähnlich gehandhabt.<sup>81</sup>

**# Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nach einer bestimmten zeitlichen Reihenfolge eingeplant sein.**

---

<sup>75</sup>Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 154) und ZI Soft (2007, S. 16).

<sup>76</sup>Vgl. Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 794).

<sup>77</sup>Vgl. bspw. Ostermann und de Werra (1982, S. 199f), Costa (1994, S. 99f) und Alvarez-Valdes et al. (2002a, S. 513f).

<sup>78</sup>Vgl. bspw. Drexl und Salewski (1997, S. 197f), Hilbert-Siekmann (2001, S. 144) und Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 792).

<sup>79</sup>Die unterschiedlichen Zwecke, die Pausen erfüllen sollen, werden auf S. 18 ausführlich erläutert.

<sup>80</sup>Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 151f).

<sup>81</sup>Vgl. ZI Soft (2007, S. 29-32).

*An der Leibniz-Schule findet einmal in der Unterrichtswoche eine Vollversammlung der Schule statt. In der Schulstunde vor der Vollversammlung bereitet die Schulklasse 1a die notwendige Mikrofontechnik vor. Sowohl die Vollversammlung als auch die technische Vorbereitung werden jeweils einer einstündigen Lehrveranstaltung zugeordnet. Diese sollen in der richtigen Reihenfolge eingeplant werden.*

Außer bei Schimmelpfeng und Helber (2007) finden sich in der Literatur und bei Tabulex keine Hinweise auf Nebenbedingungen, die Lehrveranstaltungen in einer bestimmten zeitlichen Folge anordnen.<sup>82</sup>

**# Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nur zu bestimmten Zeitfenstern eines Unterrichtstags stattfinden.**

*Ein Unterrichtstag der Leibniz-Schule wird in die Zeitfenster „Vormittag“ und „Nachmittag“ eingeteilt.<sup>83</sup> Alle Lehrveranstaltungen der Schulklasse 1a sollen am Vormittag stattfinden.*

Eine ähnliche Nebenbedingung formulieren nur Deris et al. (2000). Sie unterscheiden zwischen „Vollzeit“- und „Teilzeit-Lehrveranstaltungen“. Letztere sollen dem Nachmittag, erstere dem Vormittag zugeordnet werden.<sup>84</sup> In einigen Ansätzen der Literatur und bei Tabulex werden für jede Schulklasse zwei Schulstunden eines Unterrichtstags bestimmt, zwischen denen der Unterricht stattfinden soll. Diese werden als „frühester Unterrichtsbeginn“ bzw. „spätestes Unterrichtsende“ bezeichnet.<sup>85</sup> So werden für jede Schulklasse individuelle Zeitfenster gebildet. Eine äquivalente Modellierung ist auch in diesem Ansatz möglich, da eine Schulstunde beliebig vielen Zeitfenstern zugeordnet werden kann.

**# Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen an einem Unterrichtstag nur im selben Unterrichtsraum stattfinden.**

*Die Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe Mathematik, 1a soll unter anderem im Rahmen einer Doppelstunde unterrichtet*

---

<sup>82</sup> Vgl. Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 792f).

<sup>83</sup> Die Einteilung des Unterrichtstags in Zeitfenster wird auf Seite 16 ausführlich erläutert.

<sup>84</sup> Vgl. Deris et al. (2000, S. 823).

<sup>85</sup> Vgl. bspw. Hilbert-Siekmann (2001, S. 143f) und ZI Soft (2007, S. 23).

*werden. Beide Unterrichtsstunden sollen im selben Unterrichtsraum stattfinden.*

Diese Nebenbedingung wird in mehreren Ansätzen der Literatur modelliert. Allerdings wird dort nur dafür Sorge getragen, dass eine Lehrveranstaltung an einem Unterrichtstag im gleichen Unterrichtsraum stattfindet. Es ist nicht möglich, zwischen mehreren Lehrveranstaltungen einen Bezug herzustellen, so dass sie alle dem selben Unterrichtsraum zugeordnet werden.<sup>86</sup> Im Handbuch von Tabulex gibt es keinen Hinweis darauf, dass diese Nebenbedingung modelliert ist. Da allerdings an allgemeinbildenden Schulen in Deutschland Doppelstunden üblich sind, wird sicherlich auch dieser Problematik Rechnung getragen.

**# Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen so eingeplant werden, dass Wechsel zwischen den Standorten einer Schule keine Unterrichtszeit in Anspruch nehmen.**

*Das Hauptgebäude der Leibniz-Schule ist zehn Minuten von der Schwimmhalle entfernt. Die Schulklass 1a kann den Wechsel der Standorte nicht in einer Fünf-Minuten-Pause vornehmen, ohne dass wertvolle Unterrichtszeit verloren geht.*

Mehrfache Standorte werden in den Ansätzen der Literatur nur selten modelliert. Auch im Rahmen der Stundenplansoftware Tabulex wird darauf verzichtet. Die Berücksichtigung von Standortwechselzeiten wird nur bei Costa (1994), Hilbert-Siekmann (2001) und Yu und Sung (2002) vorgenommen.<sup>87</sup>

Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe werden unter Berücksichtigung ausgewählter Nebenbedingungen eingeplant. Ein Planer ist frei in deren Zusammenstellung und der Ausgestaltung der Parameter. Dies soll durch die folgenden Beispiele verdeutlicht werden.

- *Die Bezugsgruppe Mathematik, 1a umfasst eine dreistündige Lehrveranstaltung. Diese soll unter Berücksichtigung folgender Nebenbedingungen eingeplant werden.*

---

<sup>86</sup> Vgl. bspw. Daskalaki und Birbas (2005, S. 111-115), Avella und Vasil'ev (2005, S. 499f) und Lach und Lübbecke (2008, S. 237f).

<sup>87</sup> Vgl. Costa (1994, S. 100), Hilbert-Siekmann (2001, S. 150f) und Yu und Sung (2002, S. 706).

- Die Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe *Mathematik, 1a* soll an nicht mehr als zwei Unterrichtstagen stattfinden.
- Die Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe *Mathematik, 1a* soll an nicht weniger als zwei Unterrichtstagen stattfinden.
- Zwischen den Unterrichtstagen, an denen mindestens eine Unterrichtsstunde der Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe *Mathematik, 1a* stattfindet, soll mindestens ein Unterrichtstag eingeplant werden, an dem die Lehrveranstaltung nicht durchgeführt wird.
- Alle Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe *Mathematik, 1a*, die am selben Unterrichtstag eingeplant werden, sollen im selben Unterrichtsraum stattfinden.
- Zwischen den Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe *Mathematik, 1a* sollen keine Freistunden eingeplant werden.
- Die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe *Mathematik, 1a* sollen nicht unmittelbar vor und nach einer langen Pause stattfinden.
- Die zweistündige Lehrveranstaltung *Geschichte* der Schulklasse 1a ist der Bezugsgruppe *Geschichte, 1a* zugeordnet. Diese soll nach den folgenden Nebenbedingungen eingeplant werden.
  - Die Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe *Geschichte, 1a* soll an nicht weniger als zwei Unterrichtstagen stattfinden.
  - Zwischen den Unterrichtstagen, an denen mindestens eine Unterrichtsstunde der Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe *Geschichte, 1a* stattfindet, soll mindestens ein Unterrichtstag eingeplant werden, an dem die Lehrveranstaltung nicht durchgeführt wird.
- Für die Bezugsgruppe *Unterricht de Gaulle* gelten die folgenden Nebenbedingungen.
  - Die Anzahl der gleichzeitig stattfindenden Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe *Unterricht de Gaulle* soll auf eine beschränkt werden.
  - Die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe *Unterricht de Gaulle* sollen an nicht weniger als drei Unterrichtstagen stattfinden.

- Die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe *Unterricht de Gaulle* sollen an nicht mehr als vier Unterrichtstagen stattfinden.
  - Die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe *Unterricht de Gaulle* sollen so eingeplant werden, dass der Wechsel zwischen den Standorten der Schule keine Unterrichtszeit in Anspruch nimmt.
  - Zwischen den Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe *Unterricht de Gaulle* sollen nicht mehr als zwei Freistunden pro Unterrichtstag und sechs pro Unterrichtswoche eingeplant werden.
  - Innerhalb einer Zeitspanne von sieben aufeinanderfolgenden Schulstunden eines Unterrichtstags soll mindestens eine Schulstunde eingeplant werden, an der keine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe *Unterricht de Gaulle* stattfindet.
- Die Bezugsgruppe *Unterricht 1a* soll unter Berücksichtigung der folgenden Nebenbedingungen eingeplant werden.
    - Die Anzahl der gleichzeitig stattfindenden Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe *Unterricht 1a* soll auf eine beschränkt werden.
    - Die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe *Unterricht 1a* soll an jedem Unterrichtstag an nicht mehr als sieben Schulstunden stattfinden.
    - Die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe *Unterricht 1a* soll an jedem Unterrichtstag an nicht weniger als fünf Schulstunden stattfinden.
    - Die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe *Unterricht 1a* sollen so eingeplant werden, dass der Wechsel zwischen den Standorten der Schule keine Unterrichtszeit in Anspruch nimmt.
    - Zwischen den Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe *Unterricht 1a* sollen nicht mehr als zwei Freistunden pro Unterrichtstag und sechs pro Unterrichtswoche eingeplant werden.
    - Die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe *Unterricht 1a* sollen nur am Vormittag stattfinden.

Anhand der Beispiele wird ersichtlich, wie das Konzept der Bezugsgruppen es dem Planer ermöglicht, beliebige Abhängigkeiten zwischen den Lehrveranstaltungen flexibel zu berücksichtigen. Es ist zudem so offen gestaltet, dass weitere Nebenbedingungen leicht integriert werden können. Dadurch wird es ermöglicht, zukünftige oder sehr spezielle Anforderungen an einen Stundenplan zu modellieren.

Die Beispiele vermitteln auch einen Eindruck von der Komplexität eines zu lösenden Modells. Die Lehrveranstaltung **Mathematik** der Schulklasse 1a, die von Lehrer de Gaulle unterrichtet wird, ist drei unterschiedlichen Bezugsgruppen zugeordnet.

- Die Bezugsgruppe **Unterricht de Gaulle** berücksichtigt die Abhängigkeiten zwischen den Lehrveranstaltungen des Lehrers.
- Die Bezugsgruppe **Unterricht 1a** berücksichtigt die Abhängigkeiten zwischen den Lehrveranstaltungen der Schulklasse.
- Die Bezugsgruppe **Mathematik, 1a** berücksichtigt die Abhängigkeiten zwischen den Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung.

Die Einplanung der Lehrveranstaltung **Mathematik** ist demnach von der vieler anderer abhängig, sodass diese nicht isoliert vorgenommen werden kann. Das gilt für jede Lehrveranstaltung, zumal sie auch um die gleichen Ressourcen wie Zeiträume und Unterrichtsräume konkurrieren. Daraus folgt, dass das Modell eines Stundenplanproblems in der Regel so komplex ist, dass es nicht in mehrere Teilmodelle zerlegt werden kann, die unabhängig voneinander lösbar sind.

Allerdings können diese Abhängigkeiten auch dazu genutzt werden, um redundante Modellierungen zu vermeiden. Dadurch kann die Größe eines Modells verringert werden. Es ist bspw. für die Bezugsgruppe **Unterricht 1a** festgelegt, dass alle ihr zugeordneten Lehrveranstaltungen am Vormittag stattfinden sollen. Das gilt dann also auch für die Lehrveranstaltung **Mathematik**, so dass diese Nebenbedingung für die Bezugsgruppe **Mathematik, 1a** nicht modelliert werden muss.

### 3.3.6 Aspekte zur Modellierung von Nebenbedingungen der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen

#### 3.3.6.1 Übersicht über Typen von Nebenbedingungen aus Modellansätzen der Literatur und aus kommerziellen Softwareprodukten, die in dem in dieser Arbeit vorgestellten Modell nicht abgebildet werden

In den vorangegangenen Abschnitten 3.3.3 bis 3.3.5 wurden die Nebenbedingungen erläutert, die Teil der in Kapitel 4 formulierten Modelle sind. Dabei wird stets der Bezug zu gleichen oder ähnlichen Formulierungen in der Literatur bzw. zu Gestaltungsoptionen der Stundenplansoftware Tabulex hergestellt. Allerdings werden dort auch Nebenbedingungen beschrieben, die im Rahmen des Modellansatzes dieser Arbeit nicht abgebildet werden. Sie könnten aber nachträglich integriert werden.

- Bei Tabulex kann die maximale Anzahl der Schulstunden, an denen die Lehrveranstaltungen eines Lehrers stattfinden, für jeden Unterrichtstag individuell festgelegt werden.<sup>88</sup>

*Montags und donnerstags soll der Unterricht des Lehrers de Gaulle an nicht mehr als vier Schulstunden stattfinden. An den restlichen Unterrichtstagen ist eine Schranke von sieben Schulstunden vorgegeben.*

Im Rahmen der Modellierung dieser Arbeit kann nur eine Schranke festgelegt werden, die für alle Unterrichtstage gilt.

- Schimmelpfeng und Helber (2007) beschreiben eine Nebenbedingung, die dafür sorgen soll, dass bestimmte Lehrveranstaltungen an unterschiedlichen Unterrichtstagen den gleichen Schulstunden zugeordnet werden.<sup>89</sup>

*Die beiden Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung Geschichte der Schulklasse 1a sollen an unterschiedlichen Unterrichtstagen stattfinden. Wenn eine Unterrichtsstunde bspw. der ersten Schulstunde zugeordnet wird, dann soll auch*

---

<sup>88</sup>Vgl. ZI Soft (2007, S. 18).

<sup>89</sup>Vgl. Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 793).

*die andere in der ersten Schulstunde des anderen Unterrichtstags stattfinden.*

- Bei Avella und Vasil'ev (2005) wird ein Unterrichtstag in die Zeitfenster „Vormittag“ und „Nachmittag“ eingeteilt. Der Unterricht einer Schulklasse soll vollständig an einem der beiden Zeitfenster eines Unterrichtstags stattfinden.<sup>90</sup> Es ist allerdings nicht festgelegt, um welches es sich dabei handeln soll.

In der Literatur finden sich weitere Nebenbedingungen, die auf den ersten Blick nicht im Rahmen der in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Modellierung abgebildet werden können. Es sei zum Beispiel auf Costa (1994) verwiesen, der beschreibt, dass nur eine bestimmte Anzahl der Mittagspausen der Schulklassen gleichzeitig stattfinden soll. Der Grund liegt in der beschränkten Kapazität der Kantine.

Innerhalb des Modells dieser Arbeit kann diese Forderung nicht durch eine einzelne Nebenbedingung berücksichtigt werden. Allerdings kann sie mittels einer Kombination mehrerer Nebenbedingungen äquivalent abgebildet werden.

*Die Kapazität der Schulkantine wird anhand der zur Verfügung stehenden Sitzplätze absolut modelliert. Für die Schulklasse 1a wird die fünfständige Lehrveranstaltung **Mittagspause** erstellt. Deren räumlicher Kapazitätsbedarf wird absolut beschrieben und entspricht der Anzahl der Schüler. Die Lehrveranstaltung wird der Bezugsgruppe **Mittagspause 1a** zugeordnet. Die wiederum wird nach den folgenden Nebenbedingungen eingeplant.*

- *Die Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe soll an nicht weniger als fünf Unterrichtstagen stattfinden.*
- *Die Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe soll im Zeitfenster **Mittagspause** stattfinden.*

*Für jede Schulklasse werden entsprechende Lehrveranstaltungen und Bezugsgruppen modelliert.*

Mit Ausnahme der bereits erläuterten wenigen Ausnahmen kann jede in der Literatur oder im Rahmen der Stundenplansoftware Tabulex beschriebene Nebenbedingung innerhalb des Modells dieser Arbeit äquivalent abgebildet werden. Wenn dies nicht mittels einer Nebenbedingung erfolgen kann, dann müssen mehrere entsprechend kombiniert werden.

<sup>90</sup> Vgl. Avella und Vasil'ev (2005, S. 499f).

### 3.3.6.2 Die Formulierung der Nebenbedingungen als weiche Restriktionen

In der Literatur wird stets eine Unterteilung der Nebenbedingungen in harte und weiche Restriktionen vorgenommen.<sup>91</sup> Die harten Restriktionen müssen vollständig erfüllt sein, da sonst ein Stundenplan unzulässig ist und damit nicht an einer Schule eingeführt werden kann.<sup>92</sup>

Die weichen Nebenbedingungen haben eine nachrangige Bedeutung und dienen der Akzeptanz eines Stundenplans.<sup>93</sup> Sie müssen also, im Gegensatz zu den harten Restriktionen, nicht unbedingt vollständig erfüllt sein. Die jeweiligen Nebenbedingungen werden dazu aus dem Restriktionensystem entfernt, mit vorzugebenden Parametern gemäß ihrer Bedeutung gewichtet und in die Zielfunktion aufgenommen.<sup>94</sup> Die Bedeutung der Nebenbedingungen leitet sich aus den bei der Stundenplanerstellung verfolgten Zielsetzungen ab und drücken sich in der Höhe der Parameter aus, die im Folgenden Strafpunkte genannt werden.

Wenn, wie im Rahmen des Modells dieser Arbeit, der Zielfunktionswert zu minimieren ist, dann werden besonders wichtige Zielsetzungen mit hohen Strafpunkten, unwichtigere mit entsprechend niedrigeren bemessen. Allerdings kann die Aussage, welche „hoch“ und welche „niedrig“ sind, nur in Abhängigkeit voneinander getroffen werden. Zudem sind sie nicht ausschließlich eindimensional zu betrachten.

*Falls der Unterricht des Lehrers de Gaulle auf mehr als vier Unterrichtstage verteilt wird, dann werden Strafpunkte in Höhe von 4.000 verursacht.*

*Wenn der Unterricht des Lehrers Goethe an mehr als zwei Unterrichtstagen stattfindet, dann fallen Strafpunkte in Höhe von 300.000 an.*

Im Beispiel werden die Strafpunkte für diese Zielsetzung individuell nach den unterschiedlichen Bedürfnissen der Lehrer bzw. Bezugsgruppen modelliert. Mit Hilfe der Gewichtungen können demnach die stundenplanrelevanten Charakteristika einer Schule präzise abgebildet werden.

Wenn allerdings harte Restriktionen formuliert werden, dann können solche Differenzierungen nicht vorgenommen werden. In Kapitel 2 wird ausführlich erläutert, dass das Schulwesen in Deutschland äußerst heterogen und deshalb

---

<sup>91</sup> Vgl. Petrovic und Burke (2004, S. 2f).

<sup>92</sup> Vgl. Hilbert-Siekman (2001, S. 26).

<sup>93</sup> Vgl. Costa (1994, S. 101).

<sup>94</sup> Vgl. Domschke und Drexl (2005, S. 135).

im Prinzip jedes Stundenplanproblem einzigartig ist.<sup>95</sup> Deshalb ist es notwendig, den Planern die Möglichkeit zur Gestaltung eines präzisen Modells ihres Stundenplanproblems zu geben. Die Formulierung von Restriktionen verhindert allerdings eine differenzierte Abbildung der individuellen Charakteristika einer Schule, sodass eine generelle Verwendung von weichen Nebenbedingungen sinnvoller ist.

Außerdem ist die Abgrenzung zwischen den unbedingt einzuhaltenden harten Restriktionen und den verhandelbaren weichen Nebenbedingungen in der Literatur nicht eindeutig.<sup>96</sup> So ist die Nebenbedingung, wonach die beschränkte Kapazität eines Unterrichtsraums berücksichtigt werden soll, bei Arntzen und Lokketangen (2005) hart und bei Schimmelpfeng und Helber (2007) weich formuliert.<sup>97</sup>

Es könnten ausführliche Diskussionen angestrengt werden, warum welche Nebenbedingungen hart oder weich abzubilden sind. Allerdings spricht ein wesentliches Argument wiederum für die weiche Formulierung aller Nebenbedingungen.

Die Eingabe, Pflege und Verwaltung der Daten einer Schule, anhand derer ein Modell zur Erstellung eines Stundenplans gebildet werden soll, ist äußerst aufwändig und zeitintensiv. Wenn dabei nur ein Fehler gemacht wird, dann kann dies dazu führen, dass kein akzeptabler Stundenplan ermittelt werden kann, weil der mathematische Lösungsraum des Problems leer ist.

*Der Unterricht des Lehrers de Gaulle soll eigentlich auf nicht mehr als vier Unterrichtstage verteilt werden. Allerdings unterläuft dem Planer bei der Eingabe ein Fehler und legt somit fest, dass der Unterricht an nicht mehr als einem Unterrichtstagen stattfinden soll.*

Wenn alle Nebenbedingungen hart formuliert sind, dann kann unter Umständen kein mathematisch und praktisch zulässiger Stundenplan erstellt werden. Das ist die einzige Information, die der Planer nach der Anwendung des Solvers zur Lösung des mathematischen Optimierungsproblems erhält. Er kann daraus nicht schließen, welchen Fehler er begangen hat, weshalb eine aufwändige Suche notwendig wird.

Wenn hingegen alle Nebenbedingungen weich abgebildet werden, dann wird immer ein Stundenplan erstellt. Die Struktur des Ergebnisses offenbart die gegenwärtig nicht eingehaltenen Nebenbedingungen, wodurch die fehlerhafte Ein-

---

<sup>95</sup> Vgl. Kapitel 2, S. 5.

<sup>96</sup> Hilbert-Siekmann (2001, S. 30)

<sup>97</sup> Vgl. Arntzen und Lokketangen (2005, S. 66) und Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 792)

gabe erkannt und vom Planer leicht korrigiert werden kann. Der praktische Nutzen spricht also demnach eindeutig für die ausschließliche Formulierung von weichen Restriktionen.

Aus diesen Gründen werden fast alle Nebenbedingungen weich modelliert. Eine Ausnahme wird bei der Bildung von Unterrichtsbändern gemacht. Die entsprechende Nebenbedingung wird als harte Restriktion formuliert, um die Größe des Modells zu verringern. Allerdings wird trotzdem immer ein Stundenplan erstellt. Wenn ein Unterrichtsband nicht gebildet werden kann, dann werden demzufolge die entsprechenden Lehrveranstaltungen nicht eingeplant.<sup>98</sup>

## 3.4 Ein Verfahren zur Lösung des Problems mit Hilfe einer hierarchischen Dekompositionsstrategie

### 3.4.1 Überblick über Dekompositionsstrategien in der Literatur

In Kapitel 2 wird erläutert, dass das Problem der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen in zwei sequentiell zu lösende Probleme aufgeteilt wird. Das Teilproblem der Unterrichtsstundenzuordnung wird idealerweise als Totalmodell abgebildet. Es wird demnach nicht dekomponiert, weil es aufgrund seiner Interdependenzen nicht für weitere Zerlegungen geeignet ist.<sup>99</sup>

Allerdings sind die korrespondierenden Totalmodelle zu realen Problemen der Unterrichtsstundenzuordnung zum Teil so groß und komplex, dass sie nicht in einer vertretbaren Rechenzeit gelöst werden können. Aus diesem Grund wurden in der Literatur bereits mehrere Dekompositionsstrategien vorgeschlagen.<sup>100</sup> Diese werden im Folgenden näher beschrieben und anschließend wird auf die entsprechenden Stellen in der Literatur verwiesen.

- **Hierarchische Dekomposition in ein Wochen- und mehrere unabhängige Tagesmodelle**

Dieser Ansatz wird bereits bei Gottlieb (1963) beschrieben. Zuerst wird ein Wochenmodell gelöst, das alle Unterrichtstage der Unterrichtswoche betrachtet. Dessen einziges Ziel ist, die Unterrichtsstunden den Unterrichtstagen fest zuzuordnen. Anschließend wird, basierend auf der Lösung des Wochenmodells, für jeden Unterrichtstag ein entsprechendes Tagesmodell generiert. Alle Tagesmodelle werden anschließend unabhängig voneinander gelöst. Da-

---

<sup>98</sup> Dies wird in den Abschnitten 4.3.4.1 und 4.3.4.2 ausführlich erläutert.

<sup>99</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.5, S. 43.

<sup>100</sup> Vgl. Burke und Petrovic (2002, S. 270f).

bei wird einer Unterrichtsstunde ein Zeitraum des jeweiligen Unterrichtstags und ein Unterrichtsraum zugeordnet. Die Verteilung der Unterrichtsstunden auf die Unterrichtstage wird zwar nicht rückgängig gemacht, aber die im Rahmen der Wochenplanung gemachten konkreten Zuordnungen von Unterrichtsstunden zu Zeiträumen und Unterrichtsräumen werden in den jeweiligen Tagesmodellen nicht berücksichtigt. In diesem hierarchischen Dekompositionsansatz erfolgt also nach der Grobplanung im Rahmen des Wochenmodells die Feinplanung durch die Tagesmodelle. Die durch das Wochenmodell festgelegten Zuordnungen der Unterrichtsstunden zu bestimmten Unterrichtstagen werden im zweiten Schritt nicht mehr rückgängig gemacht. Dadurch können die Tagesmodelle unabhängig voneinander gelöst werden.

- **Sequentielle Dekomposition nach Schulklassen mit vorgeschalteter Prioritätsphase**

Zunächst wird die Menge aller Schulklassen in mehrere Schulklassen-Teilmengen aufgeteilt. Danach werden alle Unterrichtsstunden, die in mindestens einer der Schulklassen der aktuell betrachteten Schulklassen-Teilmenge gegeben werden, einer Unterrichtsstunden-Teilmenge zugeordnet. Dabei ist es durchaus möglich, dass eine Unterrichtsstunde mehreren Unterrichtsstunden-Teilungen zugeordnet ist. Diese Unterrichtsstunden-Teilungen bilden die Grundlage für ein Teilmodell. Diese Teilmodelle werden sequentiell gelöst. Dabei werden die Unterrichtsstunden eines Teilmodells einem Unterrichtsraum und einem Zeitraum der Unterrichtswoche zugeordnet. Die Priorität, nach der die Teilmodelle gelöst werden, ergibt sich aus der Schwierigkeit, nach der die Unterrichtsstunden einer Unterrichtsstunden-Teilmenge einzuplanen sind. Der jeweilige Schwierigkeitsgrad bemisst sich danach, wie viele Unterrichtsstunden der aktuell betrachteten Unterrichtsstunden-Teilmenge zudem anderen Unterrichtsstunden-Teilungen zugeordnet sind. Demnach ist die Priorität einer Unterrichtsstunden-Teilmenge, deren Unterrichtsstunden keiner weiteren zugeordnet sind, am geringsten. Die jeweiligen Teilmodelle werden gemäß der festgelegten Priorität nacheinander, aber nicht unabhängig voneinander gelöst. So werden die Ergebnisse der bereits gelösten Teilmodelle mit Hilfe entsprechender Fixierungen von Variablen im aktuell betrachteten Teilmodell berücksichtigt.

- **Dekomposition auf der Basis einer Einteilung der Lehrer auf Arbeitsschichten**

Ein Schultag wird in drei Schichten eingeteilt, die Morgen-, Mittag- und Abendschicht. Im ersten Schritt werden die Lehrer für eine dieser Schichten an einem spezifischen Tag eingeplant. Ein Lehrer kann innerhalb einer Woche

verschiedenen Schichten zugeordnet werden, aber niemals mehr als einer an einem Tag. Basierend auf diesen Zuordnungen wird in einem zweiten Schritt ein Totalmodell gelöst.

- **Dekomposition in ein Zeitraum- und in ein Unterrichtsraummodell**

Zuerst wird ein Modell gelöst, durch das den Unterrichtsstunden entsprechende Zeiträume der Unterrichtswoche zugeordnet werden. Danach wird, basierend auf der Lösung des vorangegangenen Modells, den Unterrichtsstunden entsprechende Unterrichtsräume zugeordnet.

Eine Aussage darüber, ob im Rahmen der Stundenplansoftware Tabulex eine Dekompositionsstrategie verwendet wird, kann nicht getroffen werden. Dazu finden sich im Handbuch keinerlei Hinweise.

Ein grundsätzlicher Nachteil der Dekompositionsstrategien gegenüber einem Totalmodell ist, dass aufgrund der Zerlegung des Problems der Lösungsraum eingeschränkt wird und somit unter Umständen hochwertige Stundenpläne nicht gefunden werden können.

Der Tabelle 3.1 kann entnommen werden, welche Dekompositionsstrategien welchen Lösungsansätzen der Literatur zu Grunde liegen.

**Tabelle 3.1:** Dekompositionsstrategien im Spiegelbild der Literatur

Literatur	Totalmodell	Hierarchisch	Sequentiell	Schichten	Raum-Zeit
Abramson (1991)	X	-	-	-	-
Alvarez-Valdes et al. (2002a)	X	-	-	-	-
Arntzen und Lokketangen (2005)	X	-	-	-	-
Avella und Vasil'ev (2005)	X	-	-	-	-
Badri et al. (1998)	X	-	-	-	-
Birbas et al. (2008)	-	-	-	X	-
Burke et al. (2007)	X	-	-	-	-
Chiarandini et al. (2006)	X	-	-	-	-
Colorni et al. (1998)	X	-	-	-	-
Costa (1994)	X	-	-	-	-
Daskalaki et al. (2004)	X	-	-	-	-
Daskalaki und Birbas (2005)	-	X	-	-	-
Deris et al. (2000)	X	-	-	-	-

Fortsetzung der Tabelle „Dekompositionsstrategien im Spiegelbild der Literatur“

Literatur	Totalmodell	Hierarchisch	Sequentiell	Schichten	Raum-Zeit
DiGaspero und Schaerf (2006)	X	-	-	-	-
Dimopoulou und Miliotis (2001)	X	-	-	-	-
Drexl und Salewski (1997)	X	-	-	-	-
Haase et al. (2004)	X	-	-	-	-
Hilbert-Siekmann (2001)	X	X	X	-	-
Lach und Lübbecke (2008)	-	-	-	-	X
Martin (2004)	X	-	-	-	-
Ostermann und de Werra (1982)	X	-	-	-	-
Schaerf (1999b)	X	-	-	-	-
Schimmelpfeng und Helber (2007)	X	-	-	-	-
Socha et al. (2002)	X	-	-	-	-
Tripathy (1980)	X	-	-	-	-
Tripathy (1984)	X	-	-	-	-
Valouxis und Housos (2003)	X	-	-	-	-
Yu und Sung (2002)	X	-	-	-	-

**Legende:**

<b>Totalmodell</b>	Keine Dekompositionsstrategie verwendet
<b>Hierarchisch</b>	Hierarchische Dekomposition in ein Wochen- und mehrere unabhängige Tagesmodelle
<b>Sequentiell</b>	Sequentielle Dekomposition nach Schulklassen mit vorgeschalteter Prioritätsphase
<b>Schichten</b>	Dekomposition auf der Basis einer Einteilung auf Arbeitsschichten
<b>Raum-Zeit</b>	Dekomposition in ein Zeitraum- und in ein Unterrichtsraummodell

Anhand der Tabelle 3.1 wird ersichtlich, dass in der Literatur am häufigsten Totalmodelle formuliert werden. Im Rahmen dieser Studie wurde das Problem auch zunächst als Totalmodell abgebildet. Doch dieser Versuch scheiterte, weil für größere Probleminstanzen innerhalb einer Zeitspanne von 100 Stunden keine akzeptablen Stundenpläne erstellt werden konnten.

Deshalb musste das Problem zerlegt werden. Allerdings erscheint nicht jeder der beschriebenen Dekompositionsansätze auf die spezifische Aufgabe der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen anwendbar. Dies soll im Folgenden diskutiert werden.

- **Sequentielle Dekomposition nach Schulklassen mit vorgeschalteter Prioritätsphase**

Bei der sequentiellen Dekomposition wird jedes Unterrichtsstunden-Teilmodell nacheinander einer bestimmten Priorität folgend eingeplant. Diese bemisst sich ausschließlich danach, wie viele der Unterrichtsstunden einer Teilmenge wie vielen anderen Teilmengen zusätzlich zugeordnet sind. Dem Autor erscheint dies als eine zu starke Vereinfachung, denn die Schwierigkeit der Einplanung von Unterrichtsstunden kann von vielen weiteren Faktoren abhängig sein. So können an einer Schule Ressourcen wie bspw. Physik-Räume sehr knapp sein oder Lehrer besonders ausgeprägte Bedürfnisse an ihren Stundenplan äußern. Alle diese Faktoren unterliegen zudem starken Wechselwirkungen und erschweren daher den Lösungsprozess. Es erscheint daher kaum möglich, einen exakten Schwierigkeitsgrad zu ermitteln und daraus für jedes Teilmodell eine angemessene Priorität abzuleiten. Dadurch besitzt die Reihenfolge, nach der die Teilmodelle gelöst werden sollen, einen starken zufälligen Charakter, der sich auf die erstellten Stundenpläne überträgt.

- **Dekomposition auf der Basis einer Einteilung auf Arbeitsschichten**

Die Lösung des Modells, durch das die Lehrer auf bestimmte Schichten eines Tages eingeteilt werden, reduziert zwar die Größe des anschließend zu lösenden Totalmodells. Doch das ist immer noch zu groß, um in einer akzeptablen Rechenzeit Stundenpläne für die in dieser Studie betrachteten realistischen Testinstanzen zu erzeugen.

- **Dekomposition in ein Zeitraum- und in ein Unterrichtsraummodell**

Dieser Dekompositionsansatz ist auf das Problem der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen nur bedingt anwendbar. Wenn bspw. eine Schule auf zwei Standorte verteilt ist, dann kann die zeitliche Einplanung einer Unterrichtsstunde nicht unabhängig von der räumlichen erfolgen.

Die hierarchische Dekompositionsstrategie erscheint dem Autor im Vergleich zu den anderen am praktikabelsten, da dadurch Teilmodelle erstellt werden, die im Regelfall in einer akzeptablen Rechenzeit gelöst werden können.

### **3.4.2 Beschreibung der in dieser Arbeit untersuchten hierarchischen Dekompositionsstrategie**

Die Grundlage der hierarchische Dekompositionsstrategie für die Erstellung von Stundenplänen ist, dass mit Hilfe eines Wochenmodells die Lehrveranstaltungen den jeweiligen Unterrichtstagen zunächst fest zugeordnet werden. Dessen Lösung bildet die Grundlage für die Tagesmodelle. Der Tabelle 3.2 kann entnommen

werden, dass sowohl ein Wochen- als auch ein Tagesmodell nur einen Teil der Nebenbedingungen umfasst, die bezüglich der Unterrichtsräume<sup>101</sup>, Lehrveranstaltungen<sup>102</sup> und Bezugsgruppen<sup>103</sup> formuliert werden.

**Tabelle 3.2:** Verteilung der Nebenbedingungen auf die jeweiligen Teilmodelle

Nebenbedingung	Wochenmodell	Tagesmodell
Die Kapazität eines Unterrichtsraums bzw. eines Raumtyps soll zu keinem Zeitraum der Unterrichtswoche überschritten werden.	X	X
Alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen vollständig eingeplant werden.	X	X
Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt an einem bestimmten Unterrichtstag stattfinden.	X	-
Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt zu einer bestimmten Schulstunde stattfinden.	X	X
Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt in einem bestimmten Unterrichtsraum stattfinden.	X	X
Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen den geeignetsten Zeiträumen zugeordnet werden.	-	X
Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen den geeignetsten Unterrichtsräumen zugeordnet werden.	-	X
Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen nicht bestimmten Kombinationen aus Zeitraum und Unterrichtsraum zugeordnet werden.	X	X
Es sollen mehr als eine Lehrveranstaltung einer Bezugsgruppe zu einem Zeitraum stattfinden (Parallelgruppe und Unterrichtsband).	X	X
Die Anzahl der gleichzeitig stattfindenden Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe soll beschränkt werden.	X	X
Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an mehr als einer bestimmten Anzahl an Unterrichtstagen stattfinden.	X	-

<sup>101</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.3, S. 22.

<sup>102</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.4, S. 25 bis 28.

<sup>103</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.5, S. 32 bis 40.

Fortsetzung der Tabelle „Verteilung der Nebenbedingungen auf die jeweiligen Teilmodelle“

Nebenbedingung	Woche modell	Tages modell
Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an weniger als einer bestimmten Anzahl an Unterrichtstagen stattfinden.	<b>X</b>	-
Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen an aufeinanderfolgenden Unterrichtstagen stattfinden.	<b>X</b>	-
Zwischen den Unterrichtstagen, an denen die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe stattfinden, soll nicht weniger als eine festgelegte Anzahl an Unterrichtstagen eingeplant werden, an denen keine Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe durchgeführt werden.	<b>X</b>	-
Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe soll nicht sowohl am letzten als auch am ersten Unterrichtstag der Unterrichtswoche stattfinden.	<b>X</b>	-
Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an mehr als einer bestimmten Anzahl an Schulstunden eines Unterrichtstags stattfinden.	<b>X</b>	-
Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an weniger als einer bestimmten Anzahl an Schulstunden stattfinden.	<b>X</b>	-
Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an mehr als einer bestimmten Anzahl an Schulstunden innerhalb einer Zeitspanne stattfinden.	-	<b>X</b>
Zwischen den Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht mehr als eine festgelegte Anzahl an Freistunden pro Unterrichtstag und -woche eingeplant werden.	-	<b>X</b>
Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht unmittelbar vor und nach einer langen Pause stattfinden.	-	<b>X</b>
Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nach einer bestimmten zeitlichen Reihenfolge eingeplant sein.	<b>X</b>	<b>X</b>
Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nur zu bestimmten Zeitfenstern eines Unterrichtstags stattfinden.	-	<b>X</b>

Fortsetzung der Tabelle „Verteilung der Nebenbedingungen auf die jeweiligen Teilmodelle“

Nebenbedingung	Wochenmodell	Tagesmodell
Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen an einem Unterrichtstag nur im selben Unterrichtsraum stattfinden.	-	X
Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen so eingeplant werden, dass Wechsel zwischen den Standorten einer Schule keine Unterrichtszeit in Anspruch nehmen.	-	X

Anhand der Tabelle 3.2 wird ersichtlich, dass nur acht der 24 Nebenbedingungstypen nicht im Wochenmodell formuliert sind. Diese acht können in Zukunft schrittweise integriert werden, wodurch sukzessive immer präzisere Grundlagen für die zu lösenden Tagesmodelle geschaffen werden können. Am Ende dieser Entwicklung kann auf die Formulierung der Tagesmodelle vollständig verzichtet werden, da dann das Wochenmodell dem Ideal des Totalmodells entspricht. Wie schnell diese Entwicklung allerdings vonstatten gehen wird, hängt von vielen Faktoren ab. So ist unter anderem sowohl die Geschwindigkeit maßgeblich, mit der sich die Hard- und Software weiterentwickeln wird, als auch die Größe einer Schule oder die Komplexität der Anforderungen an einen Stundenplan.

Bei den in der Literatur beschriebenen hierarchischen Dekompositionsverfahren werden die Tagesmodelle immer unabhängig voneinander gelöst. In der Formulierung des Tagesmodells dieser Arbeit sind allerdings zwei Nebenbedingungen integriert, die dazu führen können, dass sich die jeweiligen Lösungen wechselseitig beeinflussen. Diese werden im Folgenden näher erläutert.

**# Zwischen den Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht mehr als eine festgelegte Anzahl an Freistunden pro Unterrichtstag und -woche eingeplant werden.**

*Für die Bezugsgruppe Unterricht de Gaulle sollen nicht mehr als zwei Freistunden pro Unterrichtstag und sechs pro Unterrichtswoche eingeplant werden.*

Für die Tagesmodelle muss eine Reihenfolge festgelegt werden, nach der diese gelöst werden. Diese ist prinzipiell beliebig, wobei sicherlich die Verwendung der natürlichen Reihenfolge gemäß der Stellung der Tage innerhalb einer Woche am sinnvollsten ist. Es wird nun angenommen, dass die Lösungen der Tagesmodelle, die den Montag, Dienstag und Mittwoch repräsentieren, jeweils zwei Freistunden für den Lehrer de Gaulle umfassen. Demzufolge sollten sowohl für den Donnerstag, als auch für den Freitag keine weiteren eingeplant werden, weil das „Kontingent“ für die Unterrichtswoche erschöpft ist. Aus diesem Grund ist die Schranke für die maximal einzuplanenden Freistunden für die Tagesmodelle des Donners- und Freitags entsprechend anzupassen und mit null zu bemessen. Nun wird zudem angenommen, dass es sich für den Freitag nicht vermeiden ließ, dass der Lehrer de Gaulle eine Freistunde absolvieren muss. Das hat zur Folge, dass das Tagesmodell des Montags nochmal gelöst wird. Allerdings ist die Schranke der maximal einzuplanenden Freistunden jetzt nicht mehr zwei, sondern eins.

**# Es sollen mehr als eine Lehrveranstaltung einer Bezugsgruppe zu einem Zeitraum stattfinden.**

Um eine Parallelgruppe zu bilden, muss festgelegt werden, wie viele Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe maximal zu einem Zeitraum stattfinden sollen. Ebenso ist zu bestimmen, an wie vielen Zeiträume die Bezugsgruppe maximal eingeplant werden soll.

*Die Lehrveranstaltungen Schulmesse aller vier Schulklassen werden der Bezugsgruppe Alle Schulfestessen zugeordnet. Es sollen nicht mehr als zwei Schulklassen gleichzeitig die Schulmesse besuchen. Ebenso soll die Bezugsgruppe an nicht mehr als drei Zeiträumen stattfinden.*

Es wird nun angenommen, dass die Lösung des Wochenmodells dazu führt, dass die Lehrveranstaltungen der 1a und 1b dem Montag, die der 2a und 2b dem Dienstag bzw. Donnerstag zugeordnet sind. Die Lösung der Tagesmodells des Montag ergibt, dass zwei Schulfestessen eingeplant werden. Da alle Lehrveranstaltungen stattfinden sollen, hat dies zur Folge, dass in der Unterrichtswoche insgesamt vier Zeiträume genutzt werden. Daher soll das Tagesmodell des Montag noch einmal gelöst werden. Allerdings wird die Schranke der maximal zu verplanenden Zeiträume entsprechend angepasst. Demnach soll die Bezugsgruppe nur noch zu einem Zeitraum stattfinden.

Im Ansatz dieser Arbeit können im Gegensatz zu den bisher in der Literatur beschriebenen hierarchischen Dekompositionsstrategien die Abhängigkeiten, die

zwischen den Tagesmodellen bestehen, abgebildet werden.

Es muss allerdings an dieser Stelle auch darauf hingewiesen werden, dass dies nur dann gilt, wenn mindestens eine der Nebenbedingungen zur Bildung der Parallelgruppen oder zur Beschränkung der Freistunden für ein Planungsproblem modelliert wird. Wenn das nicht der Fall ist, dann bestehen zwischen den jeweiligen Tagesmodellen keine Abhängigkeiten.

In dieser Arbeit wird demnach das Konzept der hierarchischen Dekomposition weiterentwickelt. Es ist Teil des Prozesses zur Lösung des Problems der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen. Dieser wird im Folgenden im Detail dargestellt.

- Die Wochen- und Tagesmodelle sind die zentralen Bestandteile des Prozesses. Die Verfahren zu deren Lösung werden abgebrochen, wenn mindestens eines von zwei Kriterien erfüllt ist.

- **Vorgegebenes Modell-Zeitlimit überschritten**

- Wenn der Lösungsprozess länger als bspw. zehn Stunden dauert, dann wird dieser abgebrochen.

- **Akzeptable Abweichung von der optimalen Lösung**

- Die Lösung eines Modells muss nicht unbedingt optimal sein, um als akzeptabel angesehen zu werden. Dem Planer wird daher ermöglicht, mit der absoluten Ganzzahligkeitslücke<sup>104</sup> eine Schranke zu bestimmen. Wenn also eine Lösung gefunden wird, die sich innerhalb der Lücke zwischen optimaler Lösung und Schranke befindet, dann wird die Suche abgebrochen.

*Der Planer an der Leibniz-Schule legt fest, dass jede Lösung eines Tagesmodells, die nicht mehr als 500 Strafpunkte von der optimalen Lösung abweicht, als akzeptabel gilt.*

- Zwischen den Tagesmodellen verschiedener Unterrichtstage können Abhängigkeiten bestehen. Diese erfordern unter Umständen die mehrfache Lösung der Tagesmodelle, sodass bestimmte Parameter entsprechend angepasst werden müssen. Um wertvolle Rechenzeit zu sparen, wird den Tagesmodellen deren zuletzt gefundene Lösung als Startlösung mitgegeben. Es entsteht daher eine Iteration, die im Gegensatz zu den hierarchischen Dekompositionsansätzen in der Literatur nicht grundsätzlich dann abgeschlossen ist,

---

<sup>104</sup> Vgl. Domschke und Drexl (2005, S. 138).

wenn das Wochen- und jedes Tagesmodell jeweils genau einmal gelöst wurden. Sie wird vielmehr solange fortgesetzt, bis mindestens eines der noch zu erläuternden Abbruchkriterien erfüllt ist. Diese Prüfung findet allerdings erst statt, wenn jedes Tagesmodell genau einmal gelöst wurde. Dadurch soll garantiert werden, dass mindestens ein vollständiger Stundenplan erstellt wird.

*Der Unterricht der Leibniz-Schule findet von Montag bis Freitag statt. Wenn also das Wochenmodell gelöst ist, dann müssen entsprechend fünf Tagesmodelle gebildet werden. Der Planer legt fest, dass sie in der gleichen Reihenfolge gelöst werden sollen, wie die entsprechenden Wochentage angeordnet sind. Das bedeutet, dass das „Montag-Modell“ als erstes und das „Freitag-Modell“ als letztes betrachtet wird. Prinzipiell kann allerdings eine beliebige Reihenfolge gewählt werden. Diese muss allerdings konsequent eingehalten werden.*

*Nachdem jedes Tagesmodell genau einmal gelöst wurde, wird geprüft, ob eines der Abbruchkriterien erfüllt ist. Da dies nicht der Fall ist, wird das „Montag-Modell“ ein weiteres Mal betrachtet. Aufgrund der Abhängigkeiten zwischen den jeweiligen Tagesmodellen werden einige Parameter modifiziert. Das Ergebnis des ersten „Montag-Modells“ dient als Startlösung. Das zweite Ergebnis ist nun so zufriedenstellend, dass infolgedessen eines der Abbruchkriterien greift.*

*Dem Planer stehen nun zwei Stundenpläne zur Auswahl. Der erste umfasst alle ersten Lösungen der Tagesmodelle. Der zweite Stundenplan entspricht dem ersten, allerdings mit dem Unterschied, dass er statt der ersten Lösung des „Montag-Modells“ dessen zweite berücksichtigt.*

Die Iteration wird abgebrochen, wenn mindestens eines der folgenden Kriterien erfüllt ist.

– **Vorgegebenes Gesamt-Zeitlimit überschritten**

Der zeitliche Rahmen, innerhalb dessen die Wochen- und Tagesmodelle gelöst werden sollen, ist zu beschränken. Es muss daher ein Gesamt-Zeitlimit bestimmt werden. Wenn es überschritten wird, dann darf keine weitere Suche nach der Lösung eines Tagesmodells gestartet werden.

*Der Planer an der Leibniz-Schule legt fest, dass die*

*Lösung eines jeden Wochen- und Tagesmodells nicht länger als jeweils eine halbe Stunde dauern darf. Das Gesamt-Zeitlimit beträgt fünf Stunden. Es dauerte vier Stunden, bis das Wochen- und jedes Tagesmodell genau einmal gelöst wurden. Das Gesamt-Zeitlimit ist damit noch nicht überschritten, so dass das „Montags-Modell“ ein zweites Mal betrachtet werden kann.*

– **Vorgegebenes Gesamt-Strafpunktlimit unterschritten**

Durch die Lösung eines Tagesmodells können Strafpunkte entstehen. Die Summe der durch alle Tagesmodelle einer Unterrichtswoche insgesamt verursacht Strafpunkte werden als „Gesamt-Strafpunkte“ bezeichnet. Es wird kein weiteres Tagesmodell mehr gelöst, wenn die Gesamt-Strafpunkte eine bestimmte Schranke unterschreiten. Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Strafpunkte des Wochenmodells nicht berücksichtigt werden.

*Der Planer bestimmt, dass über alle Tagesmodelle insgesamt nicht mehr als 4000 Strafpunkte verursachen sollen. Die Gesamt-Strafpunkte der ersten Lösungen der Tagesmodelle liegen bei 4500. Das zweite Ergebnis des „Montag-Modells“ führt dazu, dass sie auf 3500 sinken.*

– **Keine Verbesserung der ermittelten Gesamt-Strafpunkte**

Es kann passieren, dass für jedes Tagesmodell eine Lösung innerhalb der vorgegebenen Ganzzahligkeitslücke gefunden wird und trotzdem die Gesamt-Strafpunkte nicht die vorgegebene Schranke unterschreiten. Dieses Abbruchkriterium ist dann praktisch nicht erfüllbar. Selbstverständlich wäre irgendwann das Gesamt-Zeitlimit überschritten. Allerdings ist es ziemlich unbefriedigend, wenn viele Stunden Rechenzeit nur dafür aufgewendet werden, um stets die gleichen Stundenpläne zu erstellen. Ein Hinweis darauf, dass sich die Lösungen der Tagesmodelle nicht mehr signifikant ändern bzw. unterscheiden, geben die Gesamt-Strafpunkte. Wenn diese sich eine bestimmte Anzahl an aufeinanderfolgenden Iterationen nicht verändern, dann wird davon ausgegangen, dass auch alle weiteren Lösungen der Tagesmodelle keine Verbesserungen mehr bringen.

*Der Planer an der Leibniz-Schule modifiziert eini-*

ge Parameter und startet einen zweiten Versuch, um einen Stundenplan zu erstellen. Er legt fest, dass das Gesamt-Strafpunktelimit bei 100 liegt. Außerdem soll kein weiteres Tagesmodell mehr gelöst werden, wenn die Gesamt-Strafpunkte zehnmal in Folge gleich sind. Das Gesamt-Zeitlimit beträgt wiederum fünf Stunden.

Das Wochen- und jedes Tagesmodell wurden nach fünf Stunden jeweils genau einmal gelöst. Für jedes wurde die optimale Lösung gefunden. Die Gesamt-Strafpunkte betragen allerdings 400. Daran ändert sich nichts, obwohl jedes Tagesmodell jeweils noch zweimal gelöst wurde. Da keine Verbesserung des Gesamt-Strafpunktelimits eingetreten ist, werden keine weiteren Berechnungen angestellt. Zu diesem Zeitpunkt sind erst zehn Stunden vergangen, weshalb fünf Stunden Rechenzeit eingespart werden können.

- Das Ziel ist, einen Stundenplan zu erstellen, der in einer Schule umgesetzt werden kann. Der Lösungsprozess kann dementsprechend erst dann abgebrochen werden, wenn ein solcher gefunden wurde. Wenn ein oder mehrere Stundenpläne durch die Lösung der Teilmodelle erstellt wurden, dann müssen sie vom Planer analysiert und bewertet werden. Ihm stehen dann letztlich drei Möglichkeiten offen.

- **Annahme eines Stundenplans**

Ein Stundenplan wird als so akzeptabel bewertet, dass dieser an der Schule umgesetzt wird.

- **Annahme eines Stundenplans aufgrund von manueller Nachbearbeitung bzw. Verhandlungen**

Ein Stundenplan ist eigentlich nicht akzeptabel, allerdings führt die manuelle Nachbearbeitung des Stundenplans durch den Planer dazu, dass dieser umgesetzt werden kann. Eine etwas andere Form der Nachbearbeitung sind Verhandlungen.

*Der Planer bevorzugt einen Stundenplan und möchte diesen gerne umsetzen. Dessen einziger Fehler ist, dass Lehrer de Gaulle sieben anstatt der eigentlich vorgesehenen sechs Freistunden zu absolvieren hat. Das Ergebnis der Verhandlungen ist, dass de Gaulle die zusätzliche Freistunde akzeptiert. Im Gegenzug wird ihm zugesichert, dass er im nächsten Halbjahr nicht mehr als fünf zu*

*absolvieren hat.*

– **Ablehnung aller Stundenpläne**

Es kann passieren, dass keiner der erstellten Stundenpläne akzeptiert werden kann, weil bspw. Eingabefehler unterlaufen sind. In diesem Fall müssen die entsprechenden Parameter modifiziert werden, um so neue Stundenpläne zu erstellen.

Abschließend soll nun der gesamte Prozess zur Lösung des Problems der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen auf Basis des hierarchischen Dekompositionsansatzes mit abhängigen Tagesmodellen anhand des zu Grunde liegenden Algorithmus 3.1 veranschaulicht werden. Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass angenommen wird, dass die Unterrichtsstundenverteilung so vorgenommen wurde, dass diese eine ausreichende Basis für akzeptable Stundenpläne darstellt.<sup>105</sup>

---

<sup>105</sup> Vgl. Kapitel 2, S. 11.

---

Erstelle die Unterrichtsstundenverteilung

**solange** keine akzeptable Lösung der Unterrichtsstundenzuordnung gefunden ist:

```
  Gebe die Daten des Planungsproblems ein bzw. modifiziere sie
  Generiere das Wochenmodell
  Optimierte das Wochenmodell
  Verarbeite das Ergebnis des Wochenmodells
  Setze  $i := 1$ 
  Setze  $t := 1$ 
  Setze  $weiter := 'true'$ 
  solange  $weiter = 'true'$ 
  |
  |   Generiere das Tagesmodell  $t$ 
  |   Optimierte das Tagesmodell  $t$ , ggf. mit dem Ergebnis des Tagesmodells
  |    $t$  der Iteration  $i - T$  als Startlösung
  |   Verarbeite das Ergebnis des Tagesmodells  $t$ , ggf. Anpassung der
  |   Parameter anderer Tagesmodelle
  |   Setze  $i := i + 1$ 
  |   Setze  $t := t + 1$ 
  |   wenn  $t > T$  dann
  |   |   Setze  $t := 1$ 
  |   wenn  $i \geq T$  dann
  |   |   wenn mindestens ein Abbruchkriterium erfüllt ist dann
  |   |   |   Setze  $weiter := 'false'$ 
```

---

#### Bezeichnungen

$i$	Iterationszähler
$t$	Tagesmodellzähler
$T$	Menge aller Tagesmodelle
$weiter$	Boolesche Variable, die angibt, ob ein weiteres Tagesmodell gelöst werden soll

---

Alg. 3.1: Der Prozess zur Lösung des Problems der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen

---

### 3.5 Lösung der Modelle des dekomponierten Problems mit Methoden der gemischt-ganzzahligen linearen Programmierung

In der Literatur werden zahlreiche Verfahren vorgeschlagen, mit denen Modelle des Problems der Unterrichtsstundenzuordnung gelöst werden können.<sup>106</sup> Zu

<sup>106</sup>Einen ausführlicher Überblick über die verschiedenen Methoden werden bei Petrovic und Burke (2004) und Lewis (2008) gegeben.

unterscheiden sind dabei exakte und heuristische Verfahren.

- Exakte Verfahren garantieren das Auffinden einer optimalen Lösung, sofern eine existiert. Allerdings wird nicht garantiert, dass sie in einer vertretbaren Zeit gefunden wird. Bei den in der Literatur beschriebenen Ansätzen zur Lösung des Problems der Unterrichtsstundenzuordnung dominieren exakte Verfahren, die auf der linearen, ganzzahligen oder gemischt-ganzzahligen Programmierung basieren. Andere Verfahren, wie die nicht-lineare Optimierung oder die exakte Graphenfärbung spielen eine untergeordnete Rolle.
- Heuristische Verfahren garantieren nicht, dass eine optimale Lösung ermittelt wird. Allerdings sind die Verfahren in der Regel so konstruiert, dass sie für ein betrachtetes Problem eine Lösung in einer vertretbaren Zeit finden. Zur Erstellung eines Stundenplans werden zumeist Verfahrenstypen wie die Tabu Suche<sup>107</sup>, Simulated Annealing<sup>108</sup> oder Genetische Algorithmen<sup>109</sup> eingesetzt.

Aufgrund der Komplexität des Problems der Unterrichtsstundenzuordnung und den mangelnden Rechenleistungen der Rechner der vergangenen Jahrzehnte waren exakte Verfahren auf Basis der linearen, ganzzahligen oder gemischt-ganzzahligen Programmierung eher unpraktikabel. Zwar schlugen bereits Zehnder (1965), Lawrie (1969), Junginger (1972), Tripathy (1980) oder Tripathy (1984) frühzeitig entsprechende mathematische Modelle vor, allerdings dienten sie nur der Darstellung des Problems. Erst Ende der 1990er Jahre waren sowohl die PC-Hardware, als auch Optimierungssoftware wie Lindo<sup>110</sup> oder Cplex<sup>111</sup> so weit entwickelt, dass bereits erste kleinere Stundenplanprobleme gelöst werden konnten.<sup>112</sup>

Eine äußerst umfangreiche Arbeit zum Problem der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen Berlins verfasste Hilbert-Siekmann (2001). Die zentrale Fragestellung seiner Dissertation ist, ob die Methodik der gemischt-ganzzahligen Programmierung das Potential besitzt, die Effektivität der automatisierten Erstellung von Stundenplänen zu steigern.<sup>113</sup> Dazu formuliert er drei mathematische Modelle des Problems. Eines davon ist nicht dekomponiert. Die beiden anderen sind nach den Regeln der hierarchischen bzw. der sequentiellen Dekompositionsansätze zerlegt.<sup>114</sup> Jedes der Modelle soll mit Hilfe eines

---

<sup>107</sup> Vgl. bspw. Alvarez-Valdes et al. (2002a).

<sup>108</sup> Vgl. bspw. Abramson (1991).

<sup>109</sup> Vgl. Yu und Sung (2002).

<sup>110</sup> Vgl. Lindo (2007).

<sup>111</sup> Vgl. Suhl und Mellouli (2006, S. 77).

<sup>112</sup> Vgl. Drexl und Salewski (1997) und Birbas et al. (1997).

<sup>113</sup> Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 12).

<sup>114</sup> Eine genaue Erläuterung der verschiedenen Dekompositionsstrategien wird ab S. 48 gegeben.

Branch-and-Bound-Verfahrens, das in der Optimierungssoftware MOPS<sup>115</sup> implementiert ist, gelöst werden. Allerdings führte nur der sequentielle Dekompositionsansatz zu zufriedenstellenden Stundenplänen. Mit Hilfe der beiden anderen Ansätze war das nicht in vertretbarer Zeit möglich.<sup>116</sup>

In der Folgezeit erschienen immer mehr Artikel, in denen Lösungsansätze beschrieben werden, die auf den Methodiken der linearen, ganzzahligen oder gemischt-ganzzahligen Programmierung basieren, weil sie sich für den praktischen Einsatz vor allem an Universitäten immer besser eigneten.<sup>117</sup> Der Grund hierfür ist in der rasanten Weiterentwicklung der Leistungsfähigkeit der PC-Hardware und der Optimierungssoftware zu finden.

Trotz dieser Erfolge stellen die exakten Verfahren weiterhin eine Randerscheinung in der praktischen Anwendung dar, auch wenn Tabelle 3.3 einen anderen Eindruck vermitteln mag. So ist davon auszugehen, dass jede kommerzielle Stundenplan-Software für Schulen eine Heuristik verwendet.<sup>118</sup>

**Tabelle 3.3:** Verfahrenstypen im Spiegelbild der Literatur

Literatur	Exakt	Heuristisch
Abramson (1991)	-	X
Alvarez-Valdes et al. (2002a)	-	X
Arntzen und Lokketangen (2005)	-	X
Avella und Vasil'ev (2005)	X	-
Badri et al. (1998)	-	X
Birbas et al. (2008)	-	X
Burke et al. (2007)	-	X
Chiarandini et al. (2006)	-	X
Colormi et al. (1998)	-	X
Costa (1994)	-	X
Daskalaki et al. (2004)	X	-
Daskalaki und Birbas (2005)	X	-
Deris et al. (2000)	-	X
DiGaspero und Schaerf (2006)	-	X
Dimopoulou und Miliotis (2001)	-	X

<sup>115</sup> Vgl. Suhl und Mellouli (2006, S. 77f).

<sup>116</sup> Vgl. Hilbert-Siekman (2001, S. 215-239).

<sup>117</sup> Vgl. bspw. Daskalaki und Birbas (2005), Schimmelpfeng und Helber (2007) und Lach und Lübbecke (2008).

<sup>118</sup> Eine Untersuchung der zu Grunde liegenden Lösungsalgorithmen, der an mehreren tausend Schulen in Deutschland eingesetzten Softwarepakete GP Untis und Tabulex nimmt Arai (2005) vor.

Fortsetzung der Tabelle „Verfahrenstypen in wissenschaftlichen Publikationen zur Stundenplanerstellung“

Literatur	Exakt	Heuristisch
Drexl und Salewski (1997)	<b>X</b>	-
Haase et al. (2004)	<b>X</b>	-
Hilbert-Siekmann (2001)	<b>X</b>	-
Lach und Lübbecke (2008)	<b>X</b>	-
Martin (2004)	<b>X</b>	-
Ostermann und de Werra (1982)	-	<b>X</b>
Schaerf (1999b)	-	<b>X</b>
Schimmelpfeng und Helber (2007)	<b>X</b>	-
Socha et al. (2002)	-	<b>X</b>
Valouxis und Housos (2003)	-	<b>X</b>
Yu und Sung (2002)	-	<b>X</b>

Vielfach wird in der Literatur bezweifelt, dass exakte Verfahren genauso gut geeignet sind wie Heuristiken, um bspw. für echte Stundenplanprobleme an Universitäten optimale Lösungen zu finden.<sup>119</sup> In den letzten Jahren entwickelten sich deshalb neue Strömungen in der Forschung.

Im Rahmen des Case-Based-Reasoning wird die Struktur eines Stundenplanproblems analysiert. Basierend auf dem Ergebnis dieser Untersuchung wird ein passendes heuristisches Verfahren ausgewählt.<sup>120</sup>

Eine weitere Strömung in der Forschung untersucht die Möglichkeiten zur Kombination mehrerer Heuristiken zur Erstellung von Stundenplänen.<sup>121</sup>

Innerhalb des Ansatzes dieser Arbeit werden die Modelle mit dem exakten Branch-and-Bound-Verfahren auf Basis der gemischt-ganzzahligen Programmierung gelöst. Sie scheinen das größte Potential zu besitzen, um Stundenplanprobleme an allgemeinbildenden Schulen zu bewältigen.

Die damit verbundene mathematische Modellierung ermöglicht eine präzise Abbildung der individuellen Charakteristika einer Schule. Diese kann leicht um neue Nebenbedingungen erweitert werden, um zukünftigen, noch nicht absehbaren bzw. äußert speziellen Anforderungen an einen Stundenplan einer Schule gerecht zu werden. Die Verwendung von heuristischen Verfahren erschwert dies, weil stets eine aufwändige Pflege oder Neugestaltung der Algorithmen erforderlich ist.

<sup>119</sup> Vgl. Burke et al. (2008, S. 11f).

<sup>120</sup> Vgl. Burke et al. (2006).

<sup>121</sup> Vgl. Burke et al. (2007).

Das entfällt bei in Standard-Optimierungssoftware implementierten exakten Verfahren. Mit ihrer Hilfe wird garantiert eine optimale Lösung gefunden, sofern eine existiert. Aufgrund ihrer Leistungsfähigkeit und der der PC-Hardware können bereits heutzutage Modelle von realen Stundenplanproblemen gelöst werden.<sup>122</sup> Da noch kein Ende dieser Entwicklung absehbar ist, kann davon ausgegangen werden, dass in Zukunft noch größere und komplexere Modelle bewältigt werden können.

Neben der kommerziellen Standard-Optimierungssoftware wie Cplex<sup>123</sup> existieren mittlerweile auch Open-Source-Alternativen wie COIN<sup>124</sup>. COIN wurde bereits erfolgreich in der Praxis zur Lösung der verwandten Problemstellung der Stundenplanerstellung an der Universität Hannover getestet.<sup>125</sup> Es besteht demnach zumindest das Potential, in Zukunft reale Stundenplanprobleme allgemeinbildender Schulen ohne den Einsatz von teurer Standard-Optimierungssoftware bewältigen zu können. Dies ist im Hinblick auf den in Deutschland chronisch unterfinanzierten Bildungssektor von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

Aus diesen Gründen werden im Rahmen dieses Ansatzes die jeweiligen Modelle nicht mit einer Heuristik, sondern mit einem exakten Branch-and-Bound-Verfahren gelöst, das in einer Standard-Optimierungssoftware implementiert ist.

---

<sup>122</sup>Vgl. bspw. Daskalaki und Birbas (2005), Schimmelpfeng und Helber (2007) und Lach und Lübbecke (2008).

<sup>123</sup>Vgl. Suhl und Mellouli (2006, S. 78).

<sup>124</sup>Vgl. Forrest und Lougee-Heimer (2005).

<sup>125</sup>Vgl. Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 795-802).

---

## Kapitel 4

# Mathematische Modellierung des Problems

---

### 4.1 Beschreibung der in den Teilmodellen verwendeten Notation

Die Modelle, die in den Abschnitten 4.3 und 4.5 formuliert werden, sind sehr umfangreich. Dem Leser soll daher ein einfacher Zugang ermöglicht werden, indem die Bezeichnungen der Mengen, Parameter und Variablen einem konsistenten Schema folgen. Daraus kann auf deren Zweck geschlossen werden.

Wenn sich eine Bezeichnung nur aus Großbuchstaben zusammensetzt, dann wird damit stets eine geordnete Menge beschrieben. Alle Elemente einer Menge sind in einer bestimmten Reihenfolge angeordnet. Die Notation der geordneten Mengen kann Tabelle 4.1 entnommen werden.

**Tabelle 4.1:** Die Notation der geordneten Mengen

Notation	Menge
$B$	Menge der Bezugsgruppen
$C$	Menge der Zeitfenster eines Unterrichtstags
$BA$	Einelementige Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ am Anfang der Reihenfolgebeziehung
$BE$	Einelementige Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ am Ende der Reihenfolgebeziehung
$BF$	Menge aller Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ und der Standortwechsel-Gruppe $f$
$BJ$	Menge aller Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe

Fortsetzung der Tabelle „Die Notation der geordneten Mengen“

<b>Notation</b>	<b>Menge</b>
$BN$	Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die im Plenum gehalten werden sollen
$BP$	Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die nicht im Plenum gehalten werden sollen
$BV$	Menge aller Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ und der Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppe $v$
$F$	Menge der Standortwechsel-Gruppen
$L$	Menge der Lehrveranstaltungen
$R$	Menge der Unterrichtsräume
$S$	Menge der Schulstunden
$T$	Menge der Unterrichtstage
$U$	Menge der Schulstandorte
$UR$	Menge der Unterrichtsräume $r$ des Schulstandorts $u$
$V$	Menge der Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppen
$Y$	Menge der Raumtypen

Die Notationen der Variablen und Parameter setzen sich aus Groß- und Kleinbuchstaben zusammen. Letztere repräsentieren ein bestimmtes Wort, deren Bedeutung aus Tabelle 4.2 zu entnehmen ist. Die Kombination der Buchstaben soll den Zweck einer Variablen bzw. eines Parameters beschreiben.

**Tabelle 4.2:** Die Bedeutung der Kleinbuchstaben in der Notation der Variablen und Parameter

<b>Buchstabe</b>	<b>Bedeutung</b>
$a$	Ausmaß der Verletzung
$b$	Strafpunkte
$d$	Periode
$e$	Zeit
$f$	Aufeinanderfolgend
$g$	Anfang
$h$	Reihenfolge
$i$	Nicht weniger als
$j$	Ende
$k$	Kapazität
$l$	Länge
$n$	Nicht zuordnen zu

Fortsetzung der Tabelle „Die Bedeutung der Kleinbuchstaben in der Notation der Variablen und Parameter“

Buchstabe	Bedeutung
$o$	Option
$p$	Gleichzeitig
$r$	Entzerrung
$s$	Schranke
$t$	Freistunde
$u$	Pause
$v$	Bevorzugung
$w$	Wechsel
$x$	Nicht mehr als (nur bei Parametern und nicht-zentralen Entscheidungsvariablen)
$z$	Zustand

Die Logik der Notation soll anhand mehrerer Beispiele verdeutlicht werden.

- Der Parameter  $kYTS$  beschreibt die verfügbare Kapazität ( $k$ ) eines Raumtyps ( $Y$ ) am Unterrichtstag ( $T$ ) zur Schulstunde ( $S$ ).
- Die Variable  $aLnYTS$  beschreibt das Ausmaß der Verletzung ( $a$ ), wenn eine Lehrveranstaltung ( $L$ ), die nicht zugeordnet ( $n$ ) werden soll zu einer Kombination aus Raumtyp ( $Y$ ), Unterrichtstag ( $T$ ) und Schulstunde ( $S$ ), dieser Kombination zugeordnet wird.
- Der Parameter  $bBxS$  beschreibt die anfallenden Strafpunkte ( $b$ ), wenn eine Bezugsgruppe ( $B$ ), deren Lehrveranstaltungen an nicht mehr als ( $x$ ) einer bestimmten Anzahl Schulstunden ( $S$ ) eines Unterrichtstags stattfinden sollen, zu vielen Schulstunden eines Unterrichtstags zugeordnet sind.
- Die Variable  $zBT$  drückt aus, ob die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe ( $B$ ) am Unterrichtstag ( $T$ ) stattfinden.

Zu diesen Regeln gibt es eine Ausnahme. Die zentrale Entscheidungsvariable beider Modelle wird mit  $x$  notiert. In diesem Fall hat der Kleinbuchstabe  $x$  nicht die Bedeutung „Nicht mehr als“.

Innerhalb der Modelle werden nur reellwertige und binäre Variablen beschrieben. Binäre Variablen werden mit  $\{0, 1\}$ , reellwertige mit  $\mathbf{R}_0^+$  gekennzeichnet.

Der „card(.)“-Operator gibt die Anzahl der Elemente einer geordneten Menge zurück. Der „ord(.)“-Operator gibt die Position eines Elements innerhalb einer geordneten Menge zurück.

## 4.2 Annahmen zum Wochenmodell

In diesem Abschnitt werden die Annahmen des Wochenmodells in Bezug auf zeitliche und räumliche Aspekte, sowie Lehrveranstaltungen und Bezugsgruppen in vier Klassen A-D eingeteilt und beschrieben. Diese Annahmen basieren auf den Aspekten der Modellierung, die in Abschnitt 3.3 ausführlich erläutert werden.

### A Annahmen über die Zeit<sup>126</sup>

- A1-01 Die Zeit ist in diskrete Zeiträume gleicher Länge eingeteilt, die eine Kombination aus den Unterrichtstagen  $t$  und den Schulstunden  $s$  darstellen.
- A1-02 Die zeitliche Länge einer Schulstunde eines Unterrichtstags wird nicht modelliert.
- A1-03 Die Zeit, die benötigt wird, um von einem Standort der Schule zu einem anderen zu gelangen, wird nicht abgebildet.

### B Annahmen über die Raumtypen<sup>127</sup>

- B1-01 Alle Unterrichtsräume mit gleichen Ausstattungsmerkmalen am gleichen Standort der Schule werden zu Raumtypen zusammengefasst, ihre Kapazitäten für jeden Zeitraum  $(t, s)$  aggregiert.
- B1-02 Für jeden Raumtyp  $y$  kann festgelegt werden, dass zu jedem Zeitraum  $(t, s)$  die Raumkapazität  $kYTS_{yts}$  nicht überschritten werden soll.

### C Annahmen über die Lehrveranstaltungen und Unterrichtsstunden<sup>128</sup>

- C1-01 Jede Lehrveranstaltung  $l$  umfasst mindestens eine Unterrichtsstunde.
- C1-02 Jede Unterrichtsstunde dauert immer genauso lang wie eine Schulstunde.
- C1-03 Jede Unterrichtsstunde einer Lehrveranstaltung  $l$  nimmt in einem Raumtyp  $y$  Kapazität in Höhe von  $kLY_{ly}$  in Anspruch.
- C1-04 Für jede Lehrveranstaltung  $l$  ist festgelegt, dass alle  $sL_l$  Unterrichtsstunden eingeplant werden sollen.
- C1-05 Für jede Lehrveranstaltung  $l$  kann festgelegt werden, dass alle  $sL_l$  Unterrichtsstunden bevorzugt an einem bestimmten Unterrichtstag  $t$  stattfinden sollen.

---

<sup>126</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.1, S. 16ff.

<sup>127</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.3, S. 19ff.

<sup>128</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.4, S. 23ff.

- C1-06 Für jede Lehrveranstaltung  $l$  kann festgelegt werden, dass alle  $sL_l$  Unterrichtsstunden bevorzugt zu einer bestimmten Schulstunde  $s$  stattfinden sollen.
- C1-07 Für jede Lehrveranstaltung  $l$  kann festgelegt werden, dass alle  $sL_l$  Unterrichtsstunden bevorzugt in einem bestimmten Raumtyp  $y$  stattfinden sollen.
- C1-08 Für jede Lehrveranstaltung  $l$  kann festgelegt werden, dass alle  $sL_l$  Unterrichtsstunden nicht im Raumtyp  $y$  zum Zeitraum  $(t, s)$  stattfinden sollen.

#### D Annahmen über die Bezugsgruppen<sup>129</sup>

- D1-01 Jede Bezugsgruppe  $b$  umfasst mindestens eine Lehrveranstaltung.
- D1-02 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass deren Lehrveranstaltungen eine Parallelgruppe<sup>130</sup> oder ein Unterrichtsband<sup>131</sup> bilden sollen.
- D1-03 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass die Anzahl der gleichzeitig stattfindenden Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe nach oben bzw. unten beschränkt wird. Für jede Lehrveranstaltung wird der Parameter  $sBpL_{bl}$  bestimmt, der die Anzahl der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$  beschreibt, die zusammen mit der Lehrveranstaltung  $l$  zu einem Zeitraum stattfinden sollen.
- D1-04 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass die Lehrveranstaltungen an nicht mehr als  $sBxT_b$  Tagen stattfinden sollen.
- D1-05 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass die Lehrveranstaltungen an nicht weniger als  $sBiT_b$  Tagen stattfinden sollen.
- D1-06 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass die Unterrichtstage, an denen die Lehrveranstaltungen stattfinden, aufeinander folgen.
- D1-07 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass zwischen den Unterrichtstagen, an denen die Lehrveranstaltungen stattfinden, Pausen von mindestens  $sBr_b$  freien Unterrichtstagen eingeplant werden sollen.
- D1-08 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass die Lehrveranstaltungen nicht sowohl am letzten als auch am ersten Unterrichtstag der Unterrichtswoche stattfinden.
- D1-09 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass die Lehrveranstaltungen nicht an mehr als  $sBxS_b$  Schulstunden pro Unterrichtstag stattfinden sollen.

---

<sup>129</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.5, S. 3.3.5ff.

<sup>130</sup> Vgl. S. 33

<sup>131</sup> Vgl. S. 32

- D1-10 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass die Lehrveranstaltungen nicht an weniger als  $sB_iS_b$  Schulstunden pro Unterrichtstag stattfinden sollen.
- D1-11 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass die Lehrveranstaltungen nach einer bestimmten zeitlichen Reihenfolge eingeplant sind.

## 4.3 Mathematische Formulierung des Wochenmodells

### 4.3.1 Zielfunktion des Wochenmodells

Das Ziel ist, eine Kombination der binären Entscheidungsvariable  $x_{ytsl}$  so zu wählen, dass die Summe der Zielfunktionswerte minimiert wird. Sie nimmt den Wert 1 an, wenn eine Lehrveranstaltung  $l$  im Raumtyp  $y$  am Unterrichtstag  $t$  zur Schulstunde  $s$  stattfindet.

<b>Mengen und deren Elemente</b>	
$y \in Y$	Menge der Raumtypen
$t, \tilde{t} \in T$	Menge der Unterrichtstage
$s, \tilde{s} \in S$	Menge der Schulstunden
$l, \tilde{l} \in L$	Menge der Lehrveranstaltungen
<b>Entscheidungsvariable</b>	
$x_{ytsl} \in \{0, 1\}$	Die Variable $x_{ytsl}$ nimmt den Wert 1 an, wenn die Lehrveranstaltung $l$ im Raumtyp $y$ am Unterrichtstag $t$ zur Schulstunde $s$ stattfindet.

Die Zielfunktion 4.1 stellt eine Summe von 16 Zielfunktionswerten für Partialziele dar. Es gilt, die Summe der Zielfunktionswerte zu minimieren.

$$\min \sum_{i=1}^{16} Z_i \tag{4.1}$$

Die Partialziele werden in den folgenden Abschnitten im einzelnen erläutert.

### 4.3.2 Nebenbedingungen zur Kapazität der Raumtypen

Jeder Raumtyp verfügt zu jedem Zeitraum über eine bestimmte Kapazität. Davon nehmen die Lehrveranstaltungen, die dort stattfinden, einen bestimmten Teil in Anspruch. Basierend auf Annahme B1-01 kann für jeden Raumtyp fest-

gelegt werden, dass zu keinem Zeitraum der Unterrichtswoche mehr Kapazität als vorhanden beansprucht werden soll.

<b>Parameter</b>	
$oY_y$	Der Wert des Parameters $oY_y$ ist 1, wenn zu jedem Zeitraum der Unterrichtswoche für den Raumtyp $y$ geprüft werden soll, ob mehr von dessen Kapazität beansprucht wird, als vorhanden ist.
$kLY_{ly}$	Der Parameter $kLY_{ly}$ bildet den Kapazitätsbedarf der Lehrveranstaltung $l$ in Raumtyp $y$ ab.
$kYTS_{yts}$	Der Parameter $kYTS_{yts}$ bildet die Kapazität des Raumtyps $y$ zur Schulstunde $s$ des Unterrichtstags $t$ ab.
$bY_y$	Jede Überschreitung der Kapazität des Raumtyps $y$ wird mit $bY_y$ Strafpunkten bestraft.
<b>Entscheidungsvariable</b>	
$aYTS_{yts} \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aYTS_{yts}$ bildet das Ausmaß der Verletzung ab, wenn die Kapazität des Raumtyps $y$ zur Schulstunde $s$ des Unterrichtstags $t$ überschritten ist.

$$\sum_{l \in L} x_{ytsl} \cdot kLY_{ly} - aYTS_{yts} \leq kYTS_{yts} \quad y \in Y, t \in T, s \in S, oY_y = 1 \quad (4.2)$$

$$\sum_{\substack{y \in Y \\ oY_y = 1}} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} aYTS_{yts} \cdot bY_y = Z_1 \quad (4.3)$$

Mit den Ungleichungen (4.2) wird geprüft, ob die Kapazität des Raumtyps  $y$  zu einem Zeitraum  $t, s$  überschritten ist. Wenn mehr Kapazitätsbedarf besteht als angeboten wird, dann wird ein geeigneter Wert der Variablen  $aYTS_{yts}$  ermittelt, um die Ungleichung zu erfüllen. Jede zusätzlich benötigte Kapazitätseinheit verursacht mittels der Gleichung (4.3) allerdings  $bY_y$  Strafpunkte.

*Die Kapelle der Leibniz-Schule verfügt über 50 Sitzplätze. Wenn die Schulklassen 1a und 2a, die insgesamt 52 Schüler umfassen, gleichzeitig einen Gottesdienst besuchen, dann sind zwei Schüler ohne Sitzplatz. In diesem Fall wird die Überschreitung der Kapazität entsprechend bestraft.*

### 4.3.3 Nebenbedingungen zur Einplanung der Lehrveranstaltungen

#### 4.3.3.1 Alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen vollständig eingeplant werden

Nach Annahme C1-04 ist für jede Lehrveranstaltung festgelegt, dass deren Unterrichtsstunden vollständig eingeplant werden sollen.

---

	<b>Parameter</b>
$sL_l$	Der Parameter $sL_l$ bildet die Anzahl der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung $l$ ab.
$bL_l$	Jede nicht eingeplante Unterrichtsstunde der Lehrveranstaltung $l$ verursacht $bL_l$ Strafpunkte.

---

	<b>Entscheidungsvariable</b>
$aL_l \in \mathbf{R}_0^+$	Mit der Entscheidungsvariablen $aL_l$ wird das Ausmaß der Verletzung bestimmt, wenn nicht alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung eingeplant sind.

---

$$\sum_{y \in Y} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} x_{ytsl} + aL_l = sL_l \quad l \in L \quad (4.4)$$

$$\sum_{l \in L} aL_l \cdot bL_l = Z_2 \quad (4.5)$$

Für jede Lehrveranstaltung  $l$  wird bestimmt, dass alle  $sL_l$  Unterrichtsstunden einzuplanen sind. Für jede nicht eingeplante Unterrichtsstunde wird ein Wert für die Entscheidungsvariable  $aL_l$  entsprechend gewählt, um die Gleichungen (4.4) zu erfüllen. Diese Verletzung der Nebenbedingungen wird allerdings über die Gleichung (4.5) in der Zielfunktion bestraft.

*Die Lehrveranstaltung **Französisch** der Schulklasse 1a umfasst drei Unterrichtsstunden, die alle eingeplant werden sollen. Der Wert des Parameters  $bL_l$  beträgt daher 3.*

#### 4.3.3.2 Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt an einem bestimmten Unterrichtstag stattfinden

Der Annahme C1-05 zufolge kann für ausgewählte Lehrveranstaltungen gelten, dass deren Unterrichtsstunden bevorzugt einem bestimmten Unterrichtstag  $t$  zugeordnet werden sollen.

<b>Parameter</b>	
$oLvT_{lt}$	Der Wert des Parameters $oLvT_{lt}$ ist 1, wenn die Lehrveranstaltung $l$ am Unterrichtstag $t$ stattfinden soll.
$bLvT_l$	Jede Unterrichtsstunde der Lehrveranstaltung $l$ , die nicht am bevorzugten Unterrichtstag stattfindet, verursacht $bLvT_l$ Strafpunkte.
$sL_l$	Der Parameter $sL_l$ bildet die Anzahl der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung $l$ ab.
<b>Entscheidungsvariable</b>	
$aLvT_{lt} \in \mathbf{R}_0^+$	Mit der Entscheidungsvariablen $aLvT_{lt}$ wird das Ausmaß der Verletzung bestimmt, wenn nicht alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung am bevorzugten Unterrichtstag $t$ stattfinden.

$$\sum_{y \in Y} \sum_{s \in S} x_{ytsl} + aLvT_{lt} = sL_l \quad l \in L, t \in T, oLvT_{lt} = 1 \quad (4.6)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{\substack{t \in T \\ oLvT_{lt} = 1}} aLvT_{lt} \cdot bLvT_l = Z_3 \quad (4.7)$$

Wenn weniger als  $sL_l$  Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung  $l$  am Unterrichtstag  $t$  stattfinden, dann wird das Ausmaß der Unterschreitung mit den Gleichungen (4.6) gemessen und durch die Gleichung (4.7) in der Zielfunktion entsprechend bestraft.

*Der Lehrer de Gaulle wünscht, dass die von ihm gehaltene zweistündige Lehrveranstaltung **Geschichte** der Schulklasse 1a vollständig am Montag stattfindet.*

Jede Einplanung der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung **Geschichte** an einem anderem Tag als dem Montag wird entsprechend bestraft.

*Die Schulleitung zieht es aus pädagogischen Gründen vor, dass eine Unterrichtsstunde am Montag und eine am Mittwoch stattfinden soll.*

Alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung müssen nach den gleichen Nebenbedingungen eingeplant werden. Da sie diesem Beispiel zufolge allerdings zwei unterschiedlichen Unterrichtstagen zugeordnet werden sollen, muss die

zweistündige Lehrveranstaltung **Geschichte** in zwei einstündige Lehrveranstaltungen **Geschichte1** und **Geschichte2** aufgeteilt werden. Die Unterrichtsstunde der Lehrveranstaltung **Geschichte1** soll am Montag stattfinden, die der Lehrveranstaltung **Geschichte2** am Mittwoch.

Die folgenden Nebenbedingungen (4.8) und (4.9), sowie (4.10) und (4.11), sind analog aufgebaut wie (4.6) und (4.7). Sie fokussieren sich allerdings auf die Zuordnung der Lehrveranstaltungen zu bestimmten Schulstunden bzw. Raumtypen.

### 4.3.3.3 Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt zu einer bestimmten Schulstunde stattfinden

Nach Annahme C1-06 kann für Lehrveranstaltungen festgelegt werden, dass alle Unterrichtsstunden bevorzugt einer bestimmten Schulstunde  $s$  zugeordnet werden.

	<b>Parameter</b>
$oLvS_{ls}$	Der Wert des Parameters $oLvS_{ls}$ ist 1, wenn die Lehrveranstaltung $l$ zur Schulstunde $s$ stattfinden soll.
$bLvS_l$	Jede Unterrichtsstunde der Lehrveranstaltung $l$ , die nicht zur bevorzugten Schulstunde stattfindet, verursacht $bLvS_l$ Strafpunkte.
$sL_l$	Der Parameter $sL_l$ bildet die Anzahl der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung $l$ ab.
	<b>Entscheidungsvariable</b>
$aLvS_{ls} \in \mathbf{R}_0^+$	Mit der Entscheidungsvariablen $aLvS_{ls}$ wird das Ausmaß der Verletzung bestimmt, wenn nicht alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung zur bevorzugten Schulstunde $s$ stattfinden.

$$\sum_{y \in Y} \sum_{t \in T} x_{ytsl} + aLvS_{ls} = sL_l \quad l \in L, s \in S, oLvS_{ls} = 1 \quad (4.8)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{\substack{s \in S \\ oLvS_{ls}=1}} aLvS_{ls} \cdot bLvS_l = Z_4 \quad (4.9)$$

Mit den Gleichungen (4.8) wird geprüft, ob alle Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung  $l$  zur bevorzugten Schulstunde  $s$  stattfinden. Jede Unterrichtsstunde, die einer anderen Schulstunde zugeordnet wird, verursacht gemäß der Gleichung (4.9)  $bLvS_l$  Strafpunkte.

*Der Lehrer de Gaulle wünscht, dass die von ihm gehaltene zweistündige Lehrveranstaltung **Geschichte** der Schulklasse 2a an unterschiedlichen Unterrichtstagen jeweils in der ersten Schulstunde stattfindet.*

Jede Einplanung der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung **Geschichte** zu einer anderen Schulstunde als der ersten eines Unterrichtstags wird entsprechend bestraft.

#### 4.3.3.4 Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt in einem bestimmten Raumtyp stattfinden

Der Annahme C1-07 zufolge kann für jede Lehrveranstaltung  $l$  festgelegt werden, dass deren Unterrichtsstunden bevorzugt in einem bestimmten Raumtyp  $y$  stattfinden sollen.

	<b>Parameter</b>
$oLvY_{ly}$	Der Wert des Parameters $oLvY_{ly}$ ist 1, wenn die Lehrveranstaltung $l$ im Raumtyp $y$ stattfinden soll.
$bLvY_l$	Jede Unterrichtsstunde der Lehrveranstaltung $l$ , die nicht im bevorzugten Raumtyp $y$ stattfindet, verursacht $bLvY_l$ Strafpunkte.
$sL_l$	Der Parameter $sL_l$ bildet die Anzahl der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung $l$ ab.
	<b>Entscheidungsvariable</b>
$aLvY_{ly} \in \mathbf{R}_0^+$	Mit der Entscheidungsvariablen $aLvY_{ly}$ wird das Ausmaß der Verletzung bestimmt, wenn nicht alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung im bevorzugten Raumtyp $y$ stattfinden.

$$\sum_{s \in S} \sum_{t \in T} x_{ytsl} + aLvY_{ly} = sL_l \quad l \in L, y \in Y, oLvY_{ly} = 1 \quad (4.10)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{\substack{y \in Y \\ oLvY_{ly}=1}} aLvY_{ly} \cdot bLvY_l = Z_5 \quad (4.11)$$

Mit den Gleichungen (4.10) wird festgestellt, ob  $sL_l$  Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung  $l$  im bevorzugten Raumtyp  $y$  stattfinden. Jede Unterschreitung wird durch die Gleichung (4.11) in der Zielfunktion bestraft.

*Der Lehrer Wandel wünscht, dass die von ihm gehaltene*

*zweistündige Lehrveranstaltung Sport der Schulklasse 2a in dem Raumtyp „Turnhalle“ stattfindet.*

Jede Einplanung der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung Sport in einem anderen Raumtyp als der „Turnhalle“ wird entsprechend bestraft.

#### 4.3.3.5 Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen nicht bestimmten Kombinationen aus Zeitraum und Unterrichtsraum zugeordnet werden

Basierend auf der Annahme C1-08 sollen ausgewählte Lehrveranstaltungen bestimmten Kombinationen von Raumtypen und Zeiträumen nicht zugeordnet werden. Für jede dieser Kombinationen ist individuell festzulegen, ob die jeweilige Nebenbedingung hart oder weich formuliert sein soll. Eine harte Formulierung hat den Vorteil, dass die Entscheidungsvariable  $x$  an den entsprechenden Stellen wie ein Parameter modelliert werden kann. Dadurch wird die Größe der Koeffizientenmatrix eines Modells verringert und der Lösungsprozess beschleunigt, sofern das Modell aus mathematischer Sicht eine Lösung hat.

---

	<b>Parameter</b>
$oLnYTS_{ytsl}$	Der Wert des Parameters $oLnYTS_{ytsl}$ ist gleich 1, wenn die Lehrveranstaltung $l$ nicht der Schulstunde $s$ des Unterrichtstags $t$ und Raumtyp $y$ zugeordnet und die Nebenbedingung weich formuliert werden soll. Der Wert des Parameters $oLnYTS_{ytsl}$ ist gleich 2, wenn die Lehrveranstaltung $l$ nicht der Schulstunde $s$ des Unterrichtstags $t$ und Raumtyp $y$ zugeordnet und die Nebenbedingung hart formuliert werden soll.
$bLnYTS_{ytsl}$	Wenn die Lehrveranstaltung $l$ der Schulstunde $s$ des Unterrichtstags $t$ und Raumtyp $y$ zugeordnet ist, dann werden $bLnYTS_{ytsl}$ Strafpunkte verursacht.

---

$$\sum_{y \in Y} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} \sum_{\substack{l \in L \\ oLnYTS_{ytsl} = 1}} x_{ytsl} \cdot bLnYTS_{ytsl} = Z_6 \quad (4.12)$$

$$x_{ytsl} = 0 \quad \begin{array}{l} y \in Y, t \in T, l \in L, \\ s \in S, oLnYTS_{ytsl} = 2 \end{array} \quad (4.13)$$

Wenn die Nebenbedingung weich formuliert sein soll, dann wird mit den

Gleichungen (4.12) jede unerwünschte Zuordnung der Lehrveranstaltung  $l$  zum Zeitraum  $t, s$  und Raumtyp  $y$  bemessen und entsprechend bestraft. Die harte Formulierung der Nebenbedingung wird mit den Gleichungen (4.13) beschrieben.

*Die zweistündige Lehrveranstaltung **Geschichte** der Schulklasse 2a soll zu keinem Zeitraum im Raumtyp „Turnhalle“ stattfinden.*

Jede Einplanung der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung **Geschichte** im Raumtyp „Turnhalle“ wird entsprechend bestraft, sofern diese Nebenbedingung weich formuliert ist.

Die Nebenbedingungen (4.6) bis (4.13) sind im Grunde redundant. Diese hätten auch in einer Nebenbedingung zusammenfassen können. Allerdings wird in dieser Arbeit eine redundante Formulierung bevorzugt. Die Gründe hierfür werden auf der Seite 29 ausführlich dargestellt.

### 4.3.4 Nebenbedingungen zur Einplanung der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppen

#### 4.3.4.1 Es soll mehr als eine Lehrveranstaltung einer Bezugsgruppe zu einem Zeitraum stattfinden

Mit Hilfe der Bezugsgruppen sollen Abhängigkeiten abgebildet werden, die zwischen bestimmten Lehrveranstaltungen bestehen und bei deren Einplanung zu berücksichtigen sind.

---

	<b>Mengen und deren Elemente</b>
$b \in B$	Menge aller Bezugsgruppen
$BJ_b$	Menge aller Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$

---

Die Menge  $BJ_b$  umfasst alle Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$ . Sie ist allerdings nicht die einzige Menge, der die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe  $b$  zugeordnet werden können. Weitere Mengen sind  $BV_{bv}$ ,  $BF_{bf}$ ,  $BN_b$ ,  $BP_b$ ,  $BA_b$  und  $BE_b$ . Diese werden in den folgenden Abschnitten ausführlich dargestellt und voneinander abgegrenzt.

Nach Annahme D1-02 kann für eine Bezugsgruppe festgelegt werden, dass zu einem Zeitraum mehr als eine Lehrveranstaltung stattfindet. Dazu werden entweder Parallelgruppen oder Unterrichtsbänder gebildet.

Für eine Parallelgruppe ist zu bestimmen, wie viele Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$  maximal zu einem Zeitraum

eingepplant sein dürfen. Zudem ist anzugeben, wie vielen Zeiträumen diese zugeordnet werden sollen.

---

<b>Parameter</b>	
$oBxp_b$	Der Wert des Parameters $oBxp_b$ ist 1, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ eine Parallelgruppe bilden sollen.
$sBxpS_b$	Zu einem Zeitraum dürfen nicht mehr als $sBxpS_b$ Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ stattfinden.
$sBxpd_b$	Die Bezugsgruppe $b$ soll an $sBxpd_b$ Zeiträumen stattfinden.
$bBxpd_b$	Wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ auf mehr als die vorgesehenen $sBxpd_b$ Zeiträume verteilt sind, dann wird jeder zuviel eingepplante Zeitraum mit $bBxpd_b$ Strafpunkten bestraft.

---

<b>Entscheidungsvariablen</b>	
$zBxpdS_{bts} \in \{0, 1\}$	Die Entscheidungsvariable $zBxpdS_{bts}$ nimmt den Wert 1 an, wenn zum Zeitraum $t, s$ mindestens eine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe $b$ eingepplant ist.
$aBxpd_b \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBxpd_b$ beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ auf mehr als $sBxpd_b$ Zeiträume eingepplant sind.

---

$$\sum_{y \in Y} \sum_{l \in BJ_b} x_{ytsl} \leq sBxpS_b \cdot zBxpdS_{bts} \quad t \in T, s \in S, \quad b \in B, oBxp_b = 1 \quad (4.14)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{s \in S} zBxpdS_{bts} - aBxpd_b \leq sBxpd_b \quad b \in B, oBxp_b = 1 \quad (4.15)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBxp_b = 1}} aBxpd_b \cdot bBxpd_b = Z_7 \quad (4.16)$$

Mit den Ungleichungen (4.14) und (4.15) wird gesichert, dass nicht mehr als  $sBxpS_b$  Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$  zu einem Zeitraum  $t, s$  stattfinden. Wenn mindestens eine Unterrichtsstunde eingepplant wird, dann nimmt die Entscheidungsvariable  $zBxpdS_{bts}$  stets den Wert 1 an. Wenn die Summe der die Entscheidungsvariablen  $zBxpdS_{bts}$  die Schranke

$sBxp_b$  überschreitet, dann finden die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe an zu vielen Zeiträumen statt. In diesem Fall wird das Ausmaß der Verletzung durch Variable  $aBxp_b$  abgebildet. Diese wird mit der Gleichung (4.16) in der Zielfunktion entsprechend bestraft.

*Der Schulpfarrer der Leibniz-Schule legt fest, dass er nicht mehr als drei Schulmessen halten möchte. An jeder sollen nicht mehr als zwei Schulklassen teilnehmen. Daher beträgt der Wert des Parameters  $sBxpS_b$  2, der des Parameters  $sBxp_b$  3.*

In Abschnitt 3.3.5 wird erläutert, dass neben den Parallelgruppen auch Unterrichtsblätter gebildet werden können. Der Unterschied zwischen beiden besteht darin, dass zu jedem der Zeiträume, an denen die Bezugsgruppe  $b$  stattfindet, exakt die gleiche Anzahl an Unterrichtsstunden der jeweiligen Lehrveranstaltungen eingeplant wird. Bei den Parallelgruppen ist hingegen nur eine obere Schranke an Unterrichtsstunden festgelegt, die gleichzeitig stattfinden dürfen.

Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe können nicht sowohl eine Parallelgruppe als auch ein Unterrichtsband bilden.

<b>Parameter</b>	
$oBxp_b$	Der Wert des Parameters ist 2, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ ein Unterrichtsband bilden sollen.
$sBpL_{bl}$	Der Parameter $sBpL_{bl}$ beschreibt die Anzahl der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die zusammen mit der Lehrveranstaltung $l$ zu einem Zeitraum stattfinden sollen.
<b>Entscheidungsvariablen</b>	
$zBxpS_{bts} \in \{0, 1\}$	Die Entscheidungsvariable $zBxpS_{bts}$ nimmt den Wert 1 an, wenn zum Zeitraum $t, s$ exakt $sBpL_{bl}$ Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ eingeplant sind.

$$\sum_{y \in Y} \sum_{l \in BJ_b} \frac{x_{ytsl}}{sBpL_{bl}} = zBxpS_{bts} \quad \begin{array}{l} t \in T, s \in S, \\ b \in B, oBxp_b = 2 \end{array} \quad (4.17)$$

*Die jeweils dreistündigen Lehrveranstaltungen in Französisch und Latein der Schulklassen 1a und 1b werden Bezugsgruppe Zweite Fremdsprache, 1a, 1b zugeordnet. Die insgesamt sechs Unterrichtsstunden sollen auf insgesamt drei Zeiträume verteilt werden, wobei nicht mehr als zwei gleichzeitig stattfinden sollen. Die Werte der Parameter  $sBpL_{bl}$  betragen jeweils 2.*

Wenn eine Unterrichtsstunde der Bezugsgruppe Zweite Fremdsprache, 1a, 1b zu einem Zeitraum eingeplant wird, dann muss auch eine zweite eingeplant werden, da sonst die Gleichungen (4.17) nicht erfüllt sind.

Diese Restriktion ist hart formuliert, um sicherzustellen, dass zu einem Zeitraum entweder keine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe  $b$  stattfindet oder exakt eine vorgegebene Anzahl an Unterrichtsstunden. Dieses Wissen kann sich zu Nutze gemacht werden, um die Größe des zu lösenden Modells zu reduzieren. Dies wird im folgenden Abschnitt 4.3.4.2 ausführlich erläutert. Die Reduktion der Größe eines Modells ist allerdings nur mittels der harten Nebenbedingung zur Bildung der Unterrichtsbandern möglich, aber nicht mit den weichen Restriktionen bezüglich der Parallelgruppen.

In Abschnitt 3.3.6.2 wird erläutert, dass alle Nebenbedingungen weich formuliert werden sollten, um so unter anderem zu garantieren, dass immer ein Stundenplan erstellt wird. Aus dessen Struktur kann ein Planer bspw. Hinweise auf fehlerhafte Dateneingaben erkennen.<sup>132</sup>

Die Gleichungen (4.17) sind zwar nicht-relaxierte Nebenbedingungen, aber dennoch wird stets eine zulässige Lösung eines Modells gefunden. Wenn ein Unterrichtsband nicht gebildet werden kann, dann werden die Lehrveranstaltungen der jeweiligen Bezugsgruppe  $b$  nicht eingeplant. Demnach sichern die Gleichungen (4.4) und (4.5), dass stets ein zulässiger Stundenplan ermittelt wird.

#### **4.3.4.2 Die Anzahl der gleichzeitig stattfindenden Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe soll nach oben bzw. unten beschränkt werden**

Der Annahme D1-03 zufolge kann für jede Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe festgelegt werden, mit welchen anderen der Bezugsgruppe diese nicht gleichzeitig stattfinden sollen.

*Die Unterrichtsstunden, die der Lehrer de Gaulle zu absolvieren hat, sind unterschiedlichen Zeiträumen zuzuordnen.*

---

<sup>132</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.6.2, S. 46.

Die zentrale Entscheidungsvariable  $x$  ist binär. Sie nimmt den Wert 1 an, wenn eine Lehrveranstaltung  $l$  zum Zeitraum  $t, s$  und Raumtyp  $y$  zugeordnet wird. Keine der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung  $l$  des Lehrers de Gaulle soll zum gleichen Zeitraum stattfinden. Daher soll die Summe der Werte der Entscheidungsvariablen  $x$  über alle Raumtypen  $y$  und Lehrveranstaltungen  $l$  der Bezugsgruppe Unterricht de Gaulle zu einem Zeitraum  $t, s$  eine Schranke mit dem Wert 1 nicht überschreiten.

Eine Bezugsgruppe kann aber auch Lehrveranstaltungen umfassen, die gleichzeitig stattfinden dürfen.

*Die Bezugsgruppe Sprachen 1a umfasst mit Deutsch, Englisch, Französisch und Latein alle sprachlichen Lehrveranstaltungen der Schulklasse 1a. Alle Schüler der Schulklasse besuchen zwar Deutsch und Englisch, aber sie können zwischen Französisch und Latein wählen. Da deshalb kein Schüler in Latein und Französisch unterrichtet wird, dürfen diese Lehrveranstaltungen gleichzeitig stattfinden. Sie werden daher zusätzlich einer eigenen Bezugsgruppe Latein, Französisch 1a zugeordnet. Sie sollen eine Parallelgruppe bilden, sodass beide Lehrveranstaltungen zur gleichen Zeit stattfinden.*

Bisher wurden die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe unterschiedslos der Menge  $B_{J_b}$  zugeordnet. Um der in dem obigen Beispiel beschriebenen Anforderung zur Einplanung gerecht zu werden, werden allerdings zwei Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppen gebildet.

1. Gruppe: Deutsch, Englisch, Latein
2. Gruppe: Deutsch, Englisch, Französisch

Für jede der Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppen gilt, dass nicht mehr als eine Unterrichtsstunde der jeweiligen Lehrveranstaltungen pro Zeitraum stattfinden soll. Dadurch soll es jedem Schüler ermöglicht werden, an jeder für ihn vorgesehenen Unterrichtsstunde teilzunehmen.

*Aufgrund eines hohen Anteils an Immigranten wird der Deutsch-Unterricht in zwei Lehrveranstaltungen unterteilt. In der einen werden die Muttersprachler unterrichtet, in der anderen eine intensive Förderung der sprachlichen Kenntnisse der Immigranten betrieben. Die Lehrveranstaltungen werden ebenfalls einer weiteren Bezugsgruppe Deutsch 1a zugeordnet, damit diese eine*

*Parallelgruppe bilden sollen.*

Die der Bezugsgruppe **Sprachen 1a** zugeordneten Lehrveranstaltungen werden nun auf vier Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppen aufgeteilt.

- 1. Gruppe:** Deutsch (Muttersprachler), Englisch, Latein
- 2. Gruppe:** Deutsch (Muttersprachler), Englisch, Französisch
- 3. Gruppe:** Deutsch (Förderunterricht), Englisch, Latein
- 4. Gruppe:** Deutsch (Förderunterricht), Englisch, Französisch

Wiederum gilt für jede dieser Gruppen, dass zu jedem Zeitraum weniger als zwei Unterrichtsstunden stattfinden sollen.

Die Bezugsgruppe **Sprachen 1a** besteht demnach aus fünf verschiedenen Lehrveranstaltungen. Der korrespondierenden Menge  $B_{J_{\text{Sprachen } 1a}}$  sind also Deutsch (Muttersprachler), Deutsch (Förderunterricht), Englisch, Latein und Französisch zugeordnet. Um nun zu verhindern, dass ein Schüler zwei Lehrveranstaltungen gleichzeitig besuchen muss, werden sie vier Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppen innerhalb der Bezugsgruppe zugeordnet.

Zusätzlich werden die Bezugsgruppen **Deutsch 1a** und **Latein, Französisch 1a** gebildet, damit mittels entsprechender Parallelgruppen die Lehrveranstaltungen **Deutsch (Muttersprachler)** und **Deutsch (Förderunterricht)** bzw. **Französisch** und **Latein** gleichzeitig stattfinden.

Diese Problemstellung kann deutlich vereinfacht werden, wenn anstatt der Parallelgruppen Unterrichtsbänder gebildet werden. Da die Gleichungen (4.17) als harte Restriktionen formuliert sind, wird sichergestellt, dass zu einem Zeitraum entweder keine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe  $b$  stattfindet oder exakt eine vorgegebene Anzahl an Unterrichtsstunden. Im Gegensatz zu einer Parallelgruppe wird bei einem Unterrichtsband garantiert, dass, wie in diesem Beispiel, gleichzeitig mit einer Lateinstunde eine Französischstunde stattfindet. Dadurch können die Parameter  $s_{BpL_{\text{Sprachen } 1a, \text{ Latein}}}$  und  $s_{BpL_{\text{Sprachen } 1a, \text{ Franzoesisch}}}$  jeweils mit dem Wert 2 belegt werden. Nun können beide Lehrveranstaltungen innerhalb der Bezugsgruppe **Sprache 1a** wie eine behandelt werden. Dadurch verringert sich die Anzahl der Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppen in Bezugsgruppe **Sprachen 1a**.

- 1. Gruppe:** Deutsch (Muttersprachler)/Deutsch (Förderunterricht),  
Englisch, Latein/Französisch

Die Größe der Koeffizientenmatrix eines Modells wird dadurch reduziert, wodurch ein schnelleres Auffinden einer Lösung ermöglicht werden kann.

<b>Mengen und deren Elemente</b>	
$v \in V$	Menge der Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppen
$BV_{bv}$	Menge aller Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ und der Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppe $v$
<b>Parameter</b>	
$oBV_b$	Der Wert des Parameters $oBV_b$ ist 1, wenn bestimmte Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ nicht gleichzeitig stattfinden sollen.
$bBV_{bv}$	Wenn zwei oder mehr Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen, die der gleichen Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppe $v$ der Bezugsgruppe $b$ zugeordnet sind, gleichzeitig stattfinden, dann wird jede zuviel eingeplante Unterrichtsstunde mit $bBV_{bv}$ Strafpunkten bestraft.
$sBpL_{bl}$	Der Parameter $sBpL_{bl}$ beschreibt die Anzahl der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die zusammen mit der Lehrveranstaltung $l$ zu einem Zeitraum stattfinden sollen.
<b>Entscheidungsvariable</b>	
$aBV_{bvt} \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBV_{bvt}$ beschreibt den Ausmaß der Verletzung, wenn mehr als eine Unterrichtsstunde Lehrveranstaltung der Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppe $v$ der Bezugsgruppe $b$ zum Zeitraum $t, s$ eingeplant ist.

$$\sum_{y \in Y} \sum_{l \in BV_{bv}} \frac{x_{ytsl}}{sBpL_{bl}} - aBV_{bvt} \leq 1 \quad s \in S, b \in B, \\ v \in V, t \in T, oBV_b = 1 \quad (4.18)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBV_b = 1}} \sum_{v \in V} \sum_{l \in T} \sum_{s \in S} aBV_{bvt} \cdot bBV_{bv} = Z_8 \quad (4.19)$$

Generell ist der Wert des Parameters  $sBpL_{bl}$  von verschiedenen Faktoren abhängig. Grundsätzlich beträgt dieser 1, wenn bspw. eine Lehrveranstaltungen mit keiner anderen Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe gleichzeitig stattfinden soll.

Die Summe der linken Seite der Ungleichungen (4.18) soll den Wert 1 nicht überschreiten, was in diesem Fall mit der Gleichung (4.19) in der Zielfunktion entsprechend bestraft wird. Wenn allerdings je eine Latein- und Französischstunde wie vorgesehen gleichzeitig stattfinden, dann ist die Summe der Werte

der Entscheidungsvariable  $x$  gleich 2. Da aber die beiden Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe **Latein, Französisch 1a** zugeordnet sind und ein Unterrichtsband bilden, kann der Parameter  $sBpL_{Sprachen\ 1a,t}$  für beide Lehrveranstaltungen jeweils mit dem Wert 2 belegt werden. Dadurch wird die vorgegebene Schranke von 1 nicht überschritten.

Wenn allerdings nicht alle Lehrveranstaltungen eines Unterrichtsbands auch einer anderen Bezugsgruppe vollständig zugeordnet sind, dann beträgt der Wert des Parameters  $sBpl_{bl}$  nur 1. Der Wert des Parameters  $sBpl_{bl}$  ist also für jede Bezugsgruppe individuell zu bestimmen. So unterrichtet der Lehrer de Gaulle nur die Lehrveranstaltung in **Französisch**, aber nicht in **Latein**. Demnach sind nicht alle Lehrveranstaltungen des Unterrichtsbands vollständig der Bezugsgruppe **Unterricht de Gaulle** zugeordnet. Daher beträgt der Wert des Parameters  $sBpL_{Unterricht\ de\ Gaulle,\ Franzoesisch}$  1.

#### 4.3.4.3 Nebenbedingungen zur Berechnung der binären Variablen $zBT_{bt}$ , die bemisst, ob mindestens eine Lehrveranstaltung einer Bezugsgruppe an einem bestimmten Unterrichtstag eingeplant ist

Die binäre Variable  $zBT_{bt}$  nimmt den Wert 1 an, wenn mindestens eine Unterrichtsstunde einer Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe  $b$  an einem Unterrichtstag  $t$  stattfindet. Sie ist Teil der Nebenbedingungssysteme der Zielsetzungen, die in den Abschnitten 4.3.4.4 bis 4.3.4.8, sowie 4.3.4.11 näher erläutert werden. Wenn die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe unter Berücksichtigung von mindestens einer dieser Zielsetzungen eingeplant werden sollen, dann muss die Variable  $zBT_{bt}$  mit den Ungleichungen (4.20) und (4.21) berechnet werden.

---

	<b>Mengen und deren Elemente</b>
$BJ_b$	Menge aller Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$
	<b>Parameter</b>
$oBT_b$	Der Wert des Parameters beträgt 1, wenn für Bezugsgruppe $b$ die Variable $zBT_{bt}$ berechnet werden soll.
$kB_b$	Der Parameter $kB_b$ beschreibt die Anzahl der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen, die der Bezugsgruppe $b$ zugeordnet ist.

---

---

	<b>Entscheidungsvariable</b>
$zBT_{bt} \in \{0, 1\}$	Der Wert der Entscheidungsvariablen $zBT_{bt}$ beträgt 1, wenn am Unterrichtstag $t$ mindestens eine Unterrichtsstunde einer Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe $b$ eingeplant ist.

---

$$\sum_{y \in Y} \sum_{s \in S} \sum_{l \in BJ_b} x_{ytsl} \leq kB_b \cdot zBT_{bt} \quad t \in T, b \in B, oBT_b = 1 \quad (4.20)$$

$$\sum_{y \in Y} \sum_{s \in S} \sum_{l \in BJ_b} x_{ytsl} \geq zBT_{bt} \quad t \in T, b \in B, oBT_b = 1 \quad (4.21)$$

Die Ungleichungen (4.20) und (4.21) stellen sicher, dass die Variable  $zBT_{bt}$  den Wert 1 annimmt, wenn mindestens eine Lehrveranstaltung  $l$  der Bezugsgruppe  $b$  am Unterrichtstag  $t$  stattfindet.

*Die Bezugsgruppe Englisch 1a umfasst die dreistündige Lehrveranstaltung Englisch, die in der Schulklasse 1a unterrichtet wird. Wenn die Unterrichtsstunden am Montag und am Mittwoch stattfinden, dann betragen die Werte der Entscheidungsvariablen  $zBT_{\text{Englisch 1a, Montag}}$  und  $zBT_{\text{Englisch 1a, Mittwoch}}$  jeweils 1. Die Werte der übrigen sind jeweils 0.*

#### 4.3.4.4 Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an mehr als einer bestimmten Anzahl an Unterrichtstagen stattfinden

Auf Basis der Annahme D1-04 kann für jede Bezugsgruppe festgelegt werden, dass ihre Lehrveranstaltungen nicht auf mehr als eine vorgegebene Anzahl an Unterrichtstagen verteilt werden.

---

	<b>Parameter</b>
$oBxT_b$	Der Wert des Parameters $oBxT_b$ beträgt 1, wenn die Anzahl der Unterrichtstage, auf die die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ verteilt sind, eine bestimmte Schranke nicht überschreiten soll.
$sBxT_b$	Der Parameter $sBxT_b$ beschreibt die Anzahl an eingeplanten Unterrichtstagen pro Unterrichtswoche einer Bezugsgruppe $b$ , die nicht überschritten werden soll.

$bBxT_b$	Jeder zuviel eingeplante Unterrichtstag für die Bezugsgruppe $b$ verursacht $bBxT_b$ Strafpunkte.
----------	---

---

**Entscheidungsvariablen**

$aBxT_b \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBxT_b$ beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ auf mehr als $sBxT_b$ Unterrichtstage verteilt werden.
-----------------------------	---

$zBT_{bt} \in \{0, 1\}$	Der Wert der Entscheidungsvariablen $zBT_{bt}$ beträgt 1, wenn am Unterrichtstag $t$ mindestens eine Unterrichtsstunde einer Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe $b$ eingeplant ist.
-------------------------	---

---

$$\sum_{t \in T} zBT_{bt} - aBxT_b \leq sBxT_b \quad b \in B, \quad oBxT_b = 1 \quad (4.22)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBxT_b = 1}} aBxT_b \cdot bBxT_b = Z_9 \quad (4.23)$$

Mit den Ungleichungen (4.22) wird geprüft, ob die Bezugsgruppe  $b$  an mehr als  $sBxT_b$  Unterrichtstagen stattfindet. Jeder zuviel eingeplante Unterrichtstag wird über die Gleichung (4.23) in der Zielfunktion bestraft.

*Die dreistündige Lehrveranstaltung **Englisch** der Bezugsgruppe **Englisch 1a** soll auf maximal zwei Unterrichtstage verteilt werden. Wenn sie an drei Unterrichtstagen stattfindet, dann wird dies entsprechend bestraft.*

#### 4.3.4.5 Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an weniger als einer bestimmten Anzahl an Unterrichtstagen stattfinden

Der Annahme D1-05 zufolge kann für eine Bezugsgruppe gelten, dass deren Lehrveranstaltungen an einer Mindestanzahl an Unterrichtstagen stattfinden.

---

**Parameter**

$oBiT_b$	Der Wert des Parameters $oBiT_b$ beträgt 1, wenn die Anzahl der Unterrichtstage, auf die die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ verteilt sind, eine bestimmte Schranke nicht unterschreiten soll.
----------	---

$sBiT_b$	Der Parameter $sBiT_b$ beschreibt die Anzahl an belegten Unterrichtstagen pro Unterrichtswoche einer Bezugsgruppe $b$ , die nicht unterschritten werden soll.
$bBiT_b$	Jeder zu wenig eingeplante Unterrichtstag für die Bezugsgruppe $b$ verursacht $bBiT_b$ Strafpunkte.
<hr/>	
<b>Entscheidungsvariablen</b>	
$aBiT_b \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBiT_b$ beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ auf weniger als $sBiT_b$ Unterrichtstage verteilt werden.
$zBT_{bt} \in \{0, 1\}$	Der Wert der Entscheidungsvariablen $zBT_{bt}$ beträgt 1, wenn am Unterrichtstag $t$ mindestens eine Unterrichtsstunde einer Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe $b$ eingeplant ist.
<hr/>	

$$\sum_{t \in T} zBT_{bt} + aBiT_b \geq sBiT_b \quad b \in B, \quad oBiT_b = 1 \quad (4.24)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBiT_b = 1}} aBiT_b \cdot bBiT_b = Z_{10} \quad (4.25)$$

Mit den Ungleichungen (4.24) wird die Anzahl der Unterrichtstage, an denen die Bezugsgruppe  $b$  stattfindet, berechnet und mit der Schranke  $sBiT_b$  verglichen. Jeder Unterrichtstag, der zu wenig eingeplant wurde, wird über die Gleichung (4.25) in der Zielfunktion bestraft.

*Die dreistündige Lehrveranstaltung Englisch der Bezugsgruppe Englisch 1a soll an mindestens zwei Unterrichtstagen stattfinden. Wenn sie nur auf einen Unterrichtstag verteilt wird, dann wird dies entsprechend bestraft.*

#### 4.3.4.6 Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen an aufeinanderfolgenden Unterrichtstagen stattfinden

Nach Annahme D1-06 kann für eine Bezugsgruppe bestimmt werden, dass Unterrichtstage aufeinanderfolgen, auf die die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$  verteilt sind.

<b>Parameter</b>	
$oBf_b$	Der Wert des Parameters $oBf_b$ beträgt 1, wenn die Unterrichtstage aufeinanderfolgen sollen, an denen die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ stattfinden.
$bBf_b$	Wenn die Unterrichtstage, an denen die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ stattfinden, nicht aufeinanderfolgen, dann wird dies mit $bBf_b$ Strafpunkten bestraft.
<b>Entscheidungsvariablen</b>	
$aBf_b \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBf_b$ beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn zwischen den Unterrichtstagen, an denen die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ an Unterrichtstagen eingeplant sind, Unterrichtstage stattfinden, denen keine Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ zugeordnet sind.
$zBf_{bt} \in \{0, 1\}$	Die binäre Entscheidungsvariable $zBf_{bt}$ wird zur Berechnung einer Schranke für die Differenz zwischen $zBT_{bt}$ und $zBT_{b(t-1)}$ verwendet.
$zBT_{bt} \in \{0, 1\}$	Der Wert der Entscheidungsvariablen $zBT_{bt}$ beträgt 1, wenn am Unterrichtstag $t$ mindestens eine Unterrichtsstunde einer Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe $b$ eingeplant ist.

$$zBT_{b(t-1)} - zBT_{bt} \leq zBf_{bt} \quad b \in B, oBf_b = 1, \quad t \in T, ord(t) > 1 \quad (4.26)$$

$$\sum_{\substack{t \in T \\ ord(t) > 1}} zBf_{bt} + \sum_{\substack{\bar{i} \in T \\ ord(\bar{i}) = card(t)}} zBT_{b\bar{i}} - aBf_b \leq 1 \quad b \in B, oBf_b = 1 \quad (4.27)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBf_b = 1}} aBf_b \cdot bBf_b = Z_{11} \quad (4.28)$$

Der Wert der Variablen  $zBf_{bt}$  wird mit den Ungleichungen (4.26) berechnet. Dieser beträgt nur einmal 1, wenn alle Unterrichtstage der Bezugsgruppe  $b$  aufeinanderfolgen. Andernfalls liegen Unterbrechungen vor. Deren Anzahl wird mit den Ungleichungen (4.27) berechnet und über die Gleichung (4.28) in der Zielfunktion bestraft.

*Die dreistündige Lehrveranstaltung **Englisch** der Bezugsgruppe **Englisch 1a** soll aufeinanderfolgenden Unterrichtstagen statt-*

finden. Wenn die Unterrichtsstunden nur am Montag und am Dienstag eingeplant sind, dann sind die Werte der Entscheidungsvariablen  $zBT_{\text{Englisch } 1a, \text{ Montag}}$  und  $zBT_{\text{Englisch } 1a, \text{ Dienstag}}$  jeweils gleich 1. Die Werte der übrigen Entscheidungsvariablen  $zBT_{\text{Englisch } 1a, t}$  betragen 0. Damit ist nur die Entscheidungsvariable  $zBF_{\text{Englisch } 1a, \text{ Dienstag}}$  gleich 1 und die Ungleichungen (4.27) sind erfüllt.

Wenn allerdings am Donnerstag eine weitere Unterrichtsstunde eingeplant wird, dann ist  $zBF_{\text{Englisch } 1a, \text{ Freitag}}$  gleich 1. Da in diesem Fall eine Unterbrechung vorliegt, muss dies entsprechend bestraft.

#### 4.3.4.7 Zwischen den Unterrichtstagen, an denen die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe stattfinden, soll nicht weniger als eine festgelegte Anzahl an Unterrichtstagen eingeplant werden, an denen keine Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe durchgeführt werden

Der Annahme D1-07 folgende kann für eine Bezugsgruppe  $b$  festgelegt werden, dass Unterrichtstage, an denen diese stattfindet, durch eine bestimmte Mindestanzahl an freien Unterrichtstagen unterbrochen werden.

	<b>Parameter</b>
$oBrxT_b$	Der Wert des Parameters beträgt 1, wenn zwischen den Unterrichtstagen der Bezugsgruppe $b$ freie Unterrichtstage eingeplant werden sollen.
$sBrT_b$	Der Parameter $sBrT_b$ beschreibt die Anzahl der freien Unterrichtstage, die mindestens auf einen Unterrichtstag der Bezugsgruppe $b$ folgen sollen.
$bBrxT_b$	Wenn zwischen den Unterrichtstagen der Bezugsgruppe $b$ keine Unterbrechung der Mindestdauer von $sBrT_b$ Unterrichtstagen eingeplant ist, dann werden $bBrxT_b$ Strafpunkte verursacht.
	<b>Entscheidungsvariablen</b>
$aBrxT_{bt} \in \mathbf{R}_0^+$	Der Wert der Entscheidungsvariablen beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn zwischen den Unterrichtstagen der Bezugsgruppe $b$ keine Unterbrechung der Mindestdauer von $sBrT_b$ Unterrichtstagen eingeplant ist.

$zBT_{bt} \in \{0, 1\}$

Der Wert der Entscheidungsvariablen  $zBT_{bt}$  beträgt 1, wenn am Unterrichtstag  $t$  mindestens eine Unterrichtsstunde einer Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe  $b$  eingeplant ist.

---

$$\sum_{\substack{\bar{i} \in T \\ \text{ord}(t) \leq \text{ord}(\bar{i}) \\ \text{ord}(\bar{i}) \leq \text{ord}(t) + sBrT_b}} zBT_{b\bar{i}} - aBrxT_{bt} \leq 1 \quad b \in B, oBrxT_b = 1, t \in T, \quad \text{ord}(t) \leq \text{card}(t) - sBrT_b \quad (4.29)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBrxT_b = 1}} \sum_{t \in T} aBrxT_{bt} \cdot bBrxT_b = Z_{12} \quad (4.30)$$

Auf einen Unterrichtstag der Bezugsgruppe  $b$  sollen  $sBrT_b$  freie Unterrichtstage folgen. Das bedeutet, dass innerhalb von  $sBrT_b + 1$  Unterrichtstagen an nicht mehr als einem Unterrichtstag die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$  eingeplant werden sollen. Sollte diese Grenze überschritten sein, dann wird durch Ungleichungen (4.29) ein geeigneter Wert für die Variable  $aBrxT_{bt}$  ermittelt und mittels Gleichung (4.30) in der Zielfunktion bestraft.

*Zwischen den Unterrichtstagen, an denen die dreistündige Lehrveranstaltung **Mathematik** der Bezugsgruppe **Mathematik 1a** stattfindet, sollen jeweils drei Unterrichtstage Pause eingelegt werden. Der Wert des Parameters  $sBrT_{\text{Mathematik 1a}}$  beträgt daher 3. Mit Ungleichung (4.29) wird geprüft, ob die Unterrichtsstunden der Bezugsgruppe an nicht mehr als einem Unterrichtstag zwischen Montag und Donnerstag bzw. Dienstag und Freitag stattfinden. Sofern die Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe **Mathematik 1a** auf zwei Unterrichtstage verteilt wird, dann kann diese Nebenbedingung nur dann erfüllt sein, wenn es sich dabei um den Montag und den Freitag handelt.*

#### 4.3.4.8 Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht sowohl am letzten als auch am ersten Unterrichtstag der Unterrichtswoche stattfinden

Nach Annahme D1-08 kann für eine Bezugsgruppe festgelegt werden, dass die Unterrichtstage einer Bezugsgruppe über die Grenzen einer Unterrichtswoche hinweg entzerrt werden.

<b>Parameter</b>	
$oBrd_b$	Der Wert des Parameters $oBrd_b$ beträgt 1, wenn die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe $b$ nicht gleichzeitig am letzten und am ersten Unterrichtstag der Unterrichtswoche stattfinden soll.
$bBrd_b$	Wenn die Bezugsgruppe $b$ über eine Unterrichtswoche hinweg nicht entzerrt ist, dann werden $bBrd_b$ Strafpunkte verursacht.
<b>Entscheidungsvariablen</b>	
$aBrd_b \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBrd_b$ beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn die Bezugsgruppe $b$ über eine Unterrichtswoche hinweg nicht entzerrt ist.
$zBT_{bt} \in \{0, 1\}$	Der Wert der Entscheidungsvariablen $zBT_{bt}$ beträgt 1, wenn am Unterrichtstag $t$ mindestens eine Unterrichtsstunde einer Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe $b$ eingeplant ist.

$$\sum_{\substack{t \in T \\ ord(t)=1}} zBT_{bt} + \sum_{\substack{\bar{t} \in T \\ ord(\bar{t})=card(t)}} zBT_{b\bar{t}} - aBrd_b \leq 1 \quad b \in B, \quad oBrd_b = 1 \quad (4.31)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBrd_b=1}} aBr_b \cdot bBrd_b = Z_{13} \quad (4.32)$$

Mit den Gleichungen (4.31) wird geprüft, ob die Bezugsgruppe am ersten und letzten Unterrichtstag der Unterrichtswoche stattfindet. In diesem Fall wird die Nebenbedingung nicht eingehalten, was über die Gleichung (4.32) in der Zielfunktion bestraft wird.

*Die zweistündige Lehrveranstaltung **Erdkunde** der Bezugsgruppe **Erdkunde 1a** soll entweder am Montag oder am Freitag oder an keinem der beiden Unterrichtstage stattfinden. Wird sie dennoch sowohl am ersten als auch am letzten Unterrichtstag eingeplant, dann wird dies entsprechend bestraft.*

#### 4.3.4.9 Nebenbedingungen zur Berechnung der binären Variablen $zBTS_{bts}$ , die bemisst, ob mindestens eine Lehrveranstaltung einer Bezugsgruppe zu einer bestimmten Schulstunde eines Unterrichtstags eingeplant ist

Die Entscheidungsvariable  $zBTS_{bts}$  ist Teil der Nebenbedingungssysteme, die in den Abschnitten 4.3.4.10 und 4.3.4.11 dargestellt werden. Wenn für eine Bezugsgruppe  $b$  mindestens eine der beiden Nebenbedingungen eingehalten werden soll, dann muss die Variable berechnet werden. Dazu muss allerdings die Menge der Lehrveranstaltungen, die der Bezugsgruppe  $b$  zugeordnet sind, unterteilt werden.

- Die Menge  $BN_b$  umfasst alle Lehrveranstaltungen, die im Plenum und damit nicht parallel zu anderen Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe gehalten werden sollen. Dazu gehören auch die, die aufgrund der Zugehörigkeit zu einem Unterrichtsband wie eine einzelne Lehrveranstaltung angesehen werden können.
- Die Menge  $BP_b$  umfasst alle Lehrveranstaltungen, die nicht im Plenum und parallel zu anderen Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe gehalten werden sollen bzw können.

Dies soll mit Hilfe von Beispielen näher erläutert werden.<sup>133</sup>

*Der Bezugsgruppe Sprachen 1a sind die fünf Lehrveranstaltungen Deutsch (Muttersprachler), Deutsch (Förderunterricht), Englisch, Latein und Französisch zugeordnet. Die Lehrveranstaltung Englisch wird im Plenum unterrichtet und muss demnach von allen Schülern der Schulklasse 1a besucht werden. Sie soll daher mit keiner anderen Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe Unterricht 1a gleichzeitig stattfinden und wird daher der Menge  $BN_{Sprachen\ 1a}$  zugeordnet.*

*Für die Lehrveranstaltungen Deutsch (Muttersprachler) und Deutsch (Förderunterricht) werden die Schüler der Schulklasse 1a entsprechend aufgeteilt. Beide Lehrveranstaltungen bilden mit Hilfe der Bezugsgruppe Deutsch 1a ein Unterrichtsband. Sie können wie eine Lehrveranstaltung betrachtet werden, weil sichergestellt ist, dass entweder keine oder zwei Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen Deutsch (Muttersprachler) und Deutsch*

---

<sup>133</sup> Es wird das Beispiel aus Abschnitt 4.3.4.2, S. 82 aufgegriffen.

(Förderunterricht) gleichzeitig stattfinden. Sie werden daher der Menge  $BN_{\text{Sprachen } 1a}$  zugeordnet.

Die Schüler müssen sich entscheiden, ob sie in Latein oder Französisch unterrichtet werden wollen. Beide Kurse sollen gleichzeitig stattfinden. Mit Hilfe der Bezugsgruppe Latein, Französisch 1a wird allerdings kein Unterrichtsband, sondern eine Parallelgruppe gebildet. Da die zur Bildung der Parallelgruppen notwendigen Restriktionen (4.14) bis (4.16) weich formuliert sind, ist nicht garantiert, dass stets eine bestimmte Anzahl an Unterrichtsstunden gleichzeitig stattfinden.<sup>134</sup> Die beiden Lehrveranstaltungen werden daher der Menge  $BP_{\text{Sprachen } 1a}$  zugeordnet.

Es wird also eine generelle Unterteilung der Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe vorgenommen. Alle Lehrveranstaltungen, die im Plenum stattfinden bzw. durch ein entsprechendes Unterrichtsband wie eine im Plenum zu absolvierende Lehrveranstaltung behandelt werden können, werden der Menge  $BN_b$  zugeordnet. Alle anderen Lehrveranstaltungen sind Teil der Menge  $BP_b$ . Eine Lehrveranstaltung kann innerhalb einer Bezugsgruppe  $b$  nur einer von beiden Mengen zugehören.

Im Gegensatz dazu können die Lehrveranstaltungen mehreren Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppen  $BV_{bv}$  zugeordnet werden. Zur Verdeutlichung werden die jeweiligen Mengen und deren Mitglieder in Bezug auf obiges Beispiel gegenübergestellt.

$BJ_{\text{Sprachen } 1a}$	Deutsch (Muttersprachler), Deutsch (Förderunterricht), Englisch, Latein und Französisch
$BN_{\text{Sprachen } 1a}$	Deutsch (Muttersprachler), Deutsch (Förderunterricht) und Englisch
$BP_{\text{Sprachen } 1a}$	Latein und Französisch
$BV_{\text{Sprachen } 1a, 1}$	Deutsch (Muttersprachler), Deutsch (Förderunterricht), Englisch und Latein
$BV_{\text{Sprachen } 1a, 2}$	Deutsch (Muttersprachler), Deutsch (Förderunterricht), Englisch und Französisch

Die jeweiligen Mengen werden gebildet, um den verschiedenen Anforderungen zur Erfüllung der in diesem Kapitel beschriebenen Nebenbedingungen gerecht zu werden.

Mit Hilfe der in diesem Abschnitt erläuterten Ungleichungen (4.33) und

<sup>134</sup> Vgl. Abschnitt 4.3.4.1, S. 79

(4.34) wird der Wert der Entscheidungsvariable  $zBTS_{bts}$  berechnet. Dieser beträgt 1, wenn mindestens eine Lehrveranstaltung, die der Menge  $BP_b$  der Bezugsgruppe  $b$  zugeordnet ist, zu einem Zeitraum  $t, s$  stattfindet.

<b>Menge</b>	
$BP_b$	Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die nicht im Plenum gehalten werden sollen.
<b>Parameter</b>	
$oBTS_b$	Der Wert des Parameters $oBTS_b$ beträgt 1, wenn für die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ die Variable $zBTS_{bts}$ berechnet werden soll.
$kB_b$	Der Parameter $kB_b$ beschreibt die Anzahl der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen, die der Bezugsgruppe $b$ zugeordnet ist.
<b>Entscheidungsvariable</b>	
$zBTS_{bts} \in \{0, 1\}$	Der Wert der Entscheidungsvariablen $zBTS_{bts}$ beträgt 1, wenn zum Zeitraum $t, s$ mindestens eine Lehrveranstaltung der Menge $BP_b$ eingeplant ist.

$$\sum_{y \in Y} \sum_{l \in BP_b} x_{ytsl} \leq kB_b \cdot zBTS_{bts} \quad b \in B, t \in T, s \in S, oBTS_b = 1 \quad (4.33)$$

$$\sum_{y \in Y} \sum_{l \in BP_b} x_{ytsl} \geq zBTS_{bts} \quad b \in B, t \in T, s \in S, oBTS_b = 1 \quad (4.34)$$

Die Ungleichungen (4.33) und (4.34) gewährleisten, dass die Variable  $zBTS_{bts}$  nur dann den Wert 1 annimmt, wenn mindestens eine Lehrveranstaltung  $l$  der Bezugsgruppe  $b$  am Unterrichtstag  $t$  zur Schulstunde  $s$  stattfindet.

#### 4.3.4.10 Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an mehr als einer bestimmten Anzahl an Schulstunden eines Unterrichtstags stattfinden

Der Annahme D1-09 zufolge kann für eine Bezugsgruppe festgelegt werden, dass deren Lehrveranstaltungen an einem Unterrichtstag nicht auf mehr als eine vorgegebene Anzahl an Schulstunden verteilt werden.

<b>Menge</b>	
$BN_b$	Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die im Plenum gehalten werden sollen.

---

<b>Parameter</b>	
$oBxS_b$	Der Wert des Parameters $oBxS_b$ beträgt 1, wenn die Anzahl der Schulstunden, auf die die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ an einem Unterrichtstag verteilt sind, eine festgelegte Schranke nicht überschreiten soll.
$sBxS_b$	Der Parameter $sBxS_b$ beschreibt die Anzahl an Schulstunden, auf die die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ an einem Unterrichtstag maximal verteilt werden sollen.
$bBxS_b$	Wenn zu viele Schulstunden pro Unterrichtstag für eine Bezugsgruppe $b$ eingeplant sind, dann wird dies mit $bBxS_b$ Strafpunkten bestraft.
$sBpL_{bl}$	Der Parameter $sBpL_{bl}$ beschreibt die Anzahl der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die zusammen mit der Lehrveranstaltung $l$ zu einem Zeitraum stattfinden sollen.

---

<b>Entscheidungsvariable</b>	
$aBxS_{bt} \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBxS_{bt}$ beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn an einem Unterrichtstag $t$ die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ auf mehr als $sBxS_b$ Schulstunden verteilt sind.
$zBTS_{bts} \in \{0, 1\}$	Der Wert der Entscheidungsvariablen $zBTS_{bts}$ beträgt 1, wenn zum Zeitraum $t, s$ mindestens eine Lehrveranstaltung der Menge $BP_b$ eingeplant ist.

---

$$\sum_{s \in S} \left[ \left( \sum_{y \in Y} \sum_{l \in BN_b} \frac{x_{ytsl}}{sBpL_{bl}} \right) + zBTS_{bts} \right] - aBxS_{bt} \leq sBxS_b \quad b \in B, t \in T, oBxS_b = 1 \quad (4.35)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBxS_b = 1}} \sum_{t \in T} aBxS_{bt} \cdot bBxS_b = Z_{14} \quad (4.36)$$

*Die Bezugsgruppe Schulklasse 1a umfasst alle Lehrveranstaltungen, die die Schulklasse 1a zu absolvieren hat. Die Lehrveranstaltungen sollen so eingeplant werden, dass pro Unterrichtstag an nicht mehr als sieben Schulstunden stattfinden.*

Anhand dieser Nebenbedingungen kann der Zusammenhang zwischen den

Mengen  $BV_{bv}$ ,  $BN_b$  und  $BP_b$  verdeutlicht werden. Mit Hilfe der Nebenbedingungen (4.18) und (4.19) kann für eine Bezugsgruppe sichergestellt werden, dass die Lehrveranstaltungen einer jeden Menge  $BV_{bv}$  nicht gleichzeitig stattfinden. Das hat zur Folge, dass nicht mehr als eine Lehrveranstaltung der Menge  $BN_b$  pro Zeitraum  $t, s$  eingeplant ist. Dazu zählen auch die Lehrveranstaltungen der Menge  $BN_b$ , die zu einem Unterrichtsband gehören, allerdings wie eine einzige Lehrveranstaltung behandelt werden.<sup>135</sup>

Zudem finden durch die Nebenbedingungen (4.18) und (4.19) keine Lehrveranstaltungen der Menge  $BP_b$  zu einem Zeitraum  $t, s$  statt, dem eine Lehrveranstaltungen der Menge  $BN_b$  zugeordnet ist.

Wenn mindestens eine Lehrveranstaltung der Menge  $BP_b$  zu einem Zeitraum  $t, s$  eingeplant ist, dann ist die korrespondierende Variable  $zBTS_{bts}$ , die durch die Ungleichungen (4.33) und (4.34) berechnet wird, gleich 1.

Dadurch kann mittels einer Summierung der Werte der Variablen  $zBTS_{bts}$  und der Werte der Variablen  $x_{ytsl}$  der Lehrveranstaltungen der Menge  $BN_b$  die Anzahl der Schulstunden eines Unterrichtstags berechnet werden, an denen mindestens eine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe  $b$  stattfindet. Mit der Gleichung (4.35) wird geprüft, ob eine vorgegebene Schranke  $sBxS_b$  überschritten wird. In diesem Fall wird das Ausmaß der Verletzung über die Gleichung (4.36) in der Zielfunktion bestraft.

#### 4.3.4.11 Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an weniger als einer bestimmten Anzahl an Schulstunden stattfinden

Nach Annahme D1-10 soll eine Bezugsgruppe die Anzahl der Schulstunden, auf die die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$  an einem Unterrichtstag verteilt sind, eine festgelegte Schranke nicht unterschreiten. Wenn an einem Unterrichtstag Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$  eingeplant sind, dann müssen diese einer Mindestanzahl an Schulstunden des Unterrichtstags zugeordnet werden.

---

	<b>Menge</b>
$BN_b$	Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die im Plenum gehalten werden sollen.

---

<sup>135</sup> Vgl. Abschnitt 4.3.4.9, S. 94.

---

	<b>Parameter</b>
$oBiS_b$	Der Wert des Parameters $oBiS_b$ beträgt 1, wenn die Anzahl der Schulstunden, auf die die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ an einem Unterrichtstag verteilt sind, eine festgelegte Schranke nicht unterschreiten soll.
$sBiS_b$	Der Parameter $sBiS_b$ beschreibt die Anzahl an Schulstunden, auf die die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ an einem Unterrichtstag mindestens verteilt werden sollen.
$bBiS_b$	Wenn zu wenige Schulstunden pro Unterrichtstag für eine Bezugsgruppe $b$ eingeplant sind, dann wird dies mit $bBiS_b$ Strafpunkten bestraft.
$sBpL_{bl}$	Der Parameter $sBpL_{bl}$ beschreibt die Anzahl der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die zusammen mit der Lehrveranstaltung $l$ zu einem Zeitraum stattfinden sollen.

---

	<b>Entscheidungsvariable</b>
$aBiS_{bt} \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBiS_{bt}$ beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn an einem Unterrichtstag $t$ die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ auf weniger als $sBiS_b$ Schulstunden verteilt sind.
$zBT_{bt} \in \{0, 1\}$	Der Wert der Entscheidungsvariablen $zBT_{bt}$ beträgt 1, wenn am Unterrichtstag $t$ mindestens eine Unterrichtsstunde einer Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe $b$ eingeplant ist.
$zBTS_{bts} \in \{0, 1\}$	Der Wert der Entscheidungsvariablen $zBTS_{bts}$ beträgt 1, wenn zum Zeitraum $t, s$ mindestens eine Lehrveranstaltung der Menge $BP_b$ eingeplant ist.

---

$$\sum_{s \in S} \left[ \left( \sum_{y \in Y} \sum_{l \in BN_b} \frac{x_{ytsl}}{sBpL_{bl}} \right) + zBTS_{bts} \right] + aBiS_{bt} \geq zBT_{bt} \cdot sBiS_b \quad b \in B, t \in T, oBiS_b = 1 \quad (4.37)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBiS_b = 1}} \sum_{t \in T} aBiS_{bt} \cdot bBiS_b = Z_{15} \quad (4.38)$$

Wenn an einem Unterrichtstag die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe an weniger als  $sBiS_b$  Schulstunden stattfinden, dann wird das Ausmaß der Un-

terschreitung über die Gleichung (4.38) in der Zielfunktion bestraft.

*Der Bezugsgruppe Unterricht 1a sind alle Lehrveranstaltungen zugeordnet, die die Schulklasse 1a zu besuchen hat. Die Lehrveranstaltungen sollen so eingeplant werden, dass pro Unterrichtstag an nicht weniger als fünf Schulstunden stattfinden.*

#### 4.3.4.12 Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nach einer bestimmten zeitlichen Reihenfolge eingeplant sein

Der Annahme D1-11 zufolge kann für eine Bezugsgruppe festgelegt werden, dass eine Reihenfolgebeziehung zwischen zwei Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe eingehalten werden soll.<sup>136</sup>

<b>Mengen und deren Elemente</b>	
$BA_b$	Einelementige Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ am Anfang der Reihenfolgebeziehung
$BE_b$	Einelementige Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ am Ende der Reihenfolgebeziehung
<b>Parameter</b>	
$oBh_b$	Der Wert des Parameters $oBh_b$ beträgt 1, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ eine Reihenfolge einhalten sollen.
$bBh_b$	Wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ nicht in der richtigen Reihenfolge stattfinden, dann verursacht dies $bBh_b$ Strafpunkte.
<b>Entscheidungsvariable</b>	
$aBh_b \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBh_b$ beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ nicht in der richtigen Reihenfolge stattfinden.

<sup>136</sup> Vgl. Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 792f).

$$\begin{aligned}
 & \sum_{l \in BE_b} \sum_{y \in Y} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} x_{ytsl} \cdot [(ord(t) \cdot card(s)) + ord(s)] \\
 & - \sum_{l \in BA_b} \sum_{y \in Y} \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} x_{ytsl} \cdot [(ord(t) \cdot card(s)) + ord(s)] \\
 & + aBh_b \geq 1 \qquad b \in B, \\
 & \qquad \qquad \qquad oBh_b = 1 \quad (4.39)
 \end{aligned}$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBh_b = 1}} aBh_b \cdot bBh_b = Z_{16} \quad (4.40)$$

Um zu überprüfen, ob die Lehrveranstaltungen die gewünschte Reihenfolge einhalten, muss das zweidimensionale Zeitraster  $t, s$  in aufeinanderfolgende Zeiträume  $1, \dots, card(t) \cdot card(s)$  umgewandelt werden. Falls es nicht möglich ist, die Reihenfolge einzuhalten, wird das Ausmaß der Verletzung in den Ungleichungen (4.39) berechnet und über die Gleichung (4.40) in der Zielfunktion bestraft.

*Die einstündige Lehrveranstaltung Schulmesse soll innerhalb der Unterrichtswoche vor der einstündigen Lehrveranstaltung Gesprächskreis stattfinden, um die Predigt des Pfarrers zu diskutieren. Dazu wird die Lehrveranstaltung Schulmesse der Menge  $BA_b$  der Bezugsgruppe Christliche Erziehung zugeordnet, während die Lehrveranstaltung Gesprächskreis Teil der Menge  $BE_b$  der gleichen Bezugsgruppe ist.*

## 4.4 Annahmen zum Tagesmodell

Die Annahmen zum Tagesmodell werden nach zeitlichen und räumlichen Aspekten, sowie nach Lehrveranstaltungen und Bezugsgruppen in vier Klassen A-D unterteilt.

### A Annahmen über die Zeit<sup>137</sup>

A2-01 Die Zeit ist in diskrete Schulstunden  $s$  gegebener Länge eingeteilt.

A2-02 Die zeitliche Länge einer Schulstunde wird nicht modelliert.

A2-03 Nach den Schulstunden können Pausen eingeplant sein. Die Pause nach der Schulstunde  $s$  dauert  $sSu_s$  Minuten.

A2-04 Es kann zwischen langen und kurzen Pausen unterschieden werden. Folgt auf eine Schulstunde  $s$  eine lange Pause, so ist der Parameter  $sSlu_s$  gleich 1, 0 sonst.

<sup>137</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.1, S. 16ff. und 3.3.2, S. 17ff..

- A2-05 Wenn eine Schule auf mehrere Standorte verteilt ist, dann dauert der Wechsel von einem Standort  $u$  zu einem anderen Standort  $\tilde{u}$  exakt  $bBUU_{w_{u\tilde{u}}}$  Minuten.
- A2-06 Ein Unterrichtstag kann in mehrere Zeitfenster unterteilt werden, wie bspw. „Vormittag“ oder „Mittagspause“. Eine Schulstunde  $s$  kann mehreren Zeitfenstern zugeordnet sein.

## B Annahmen über die Unterrichtsräume<sup>138</sup>

- B2-01 Alle Unterrichtsräume einer Schule, in denen Unterricht stattfinden kann, verfügen zu jeder Schulstunde  $s$  über  $kRS_{rs}$  Kapazitätseinheiten.
- B2-02 Für jeden Unterrichtsraum  $r$  kann festgelegt werden, dass zu jeder Schulstunde  $s$  die Raumkapazität  $kRS_{rs}$  nicht überschritten werden soll.
- B2-03 Jeder Wechsel zwischen den Standorten  $u$  einer Schule kann innerhalb einer Schulstunde  $s$  vorgenommen werden.

## C Annahmen über die Lehrveranstaltungen und Unterrichtsstunden<sup>139</sup>

- C2-01 Jede Lehrveranstaltung  $l$  umfasst mindestens eine Unterrichtsstunde.
- C2-02 Jede Unterrichtsstunde dauert immer genauso lang wie eine Schulstunde.
- C2-03 Jede Unterrichtsstunde einer Lehrveranstaltung  $l$  nimmt in einem Unterrichtsraum  $r$  Kapazität in Höhe von  $kLR_{lr}$  in Anspruch.
- C2-04 Für jede Lehrveranstaltung  $l$  ist festgelegt, dass alle  $sL_l$  Unterrichtsstunden eingeplant werden sollen.
- C2-05 Für jede Lehrveranstaltung  $l$  kann festgelegt werden, dass alle  $sL_l$  Unterrichtsstunden bevorzugt zu einer bestimmten Schulstunde  $s$  stattfinden sollen.
- C2-06 Für jede Lehrveranstaltung  $l$  kann festgelegt werden, dass alle  $sL_l$  Unterrichtsstunden bevorzugt in einem bestimmten Unterrichtsraum  $r$  stattfinden sollen.
- C2-07 Für jede Lehrveranstaltung  $l$  kann festgelegt werden, dass sie zu den geeignetsten Schulstunden stattfinden soll. Die Eignung der Schulstunde  $s$  zur Durchführung der Lehrveranstaltung  $l$  wird mit dem Parameter  $bLmS_{ls}$  ausgedrückt, wobei ein niedriger Wert eine hohe Eignung bedeutet.

<sup>138</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.3, S. 19ff

<sup>139</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.4, S. 23

- C2-08 Für jede Lehrveranstaltung  $l$  kann festgelegt werden, dass sie in den geeignetsten Unterrichtsräumen stattfinden soll. Die Eignung des Unterrichtsraums  $r$  zur Durchführung der Lehrveranstaltung  $l$  wird mit dem Parameter  $bLmR_{lr}$  ausgedrückt, wobei ein niedriger Wert eine hohe Eignung bedeutet.
- C2-09 Für jede Lehrveranstaltung  $l$  kann festgelegt werden, dass  $sL_l$  Unterrichtsstunden nicht im Unterrichtsraum  $r$  zur Schulstunde  $s$  stattfinden sollen.

#### D Annahmen über die Bezugsgruppen<sup>140</sup>

- D2-01 Jede Bezugsgruppe  $b$  umfasst mindestens eine Lehrveranstaltung.
- D2-02 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass deren Lehrveranstaltungen eine Parallelgruppe<sup>141</sup> oder ein Unterrichtsband<sup>142</sup> bilden sollen.
- D2-03 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass die Anzahl der gleichzeitig stattfindenden Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe nach oben bzw. unten beschränkt wird. Für jede Lehrveranstaltung wird der Parameter  $sBpL_{bl}$  bestimmt, der die Anzahl der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$  beschreibt, die zusammen mit der Lehrveranstaltung  $l$  zu einer Schulstunde stattfinden sollen.
- D2-04 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass deren Lehrveranstaltungen innerhalb von  $sBr_b$  aufeinanderfolgenden Schulstunden an nicht mehr als  $sBrx_b$  Schulstunden eingeplant sein sollen.
- D2-05 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass deren Lehrveranstaltungen nicht durch eine lange Pause unterbrochen werden sollen.
- D2-06 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass zwischen deren Lehrveranstaltungen nicht mehr als  $sBt_b$  Freistunden eingeplant werden sollen.
- D2-07 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass deren Lehrveranstaltungen an einem Unterrichtstag nur im selben Unterrichtsraum stattfinden soll.
- D2-08 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass deren Lehrveranstaltungen nur zu bestimmten Schulstunden stattfinden sollen.
- D2-09 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass deren Lehrveranstaltungen so eingeplant werden sollen, dass die Dauer des Wechsels

---

<sup>140</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.5, S. 30

<sup>141</sup> Vgl. S. 33

<sup>142</sup> Vgl. S. 32

$bUUw_{u\tilde{u}}$  zwischen den Standorten  $u$  und  $\tilde{u}$  einer Schule die Schranke  $sSu_s$  nicht überschreitet, sofern eine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe zur Schulstunde  $s$  stattfindet.

D2-10 Für jede Bezugsgruppe  $b$  kann festgelegt werden, dass die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe nach einer bestimmten zeitlichen Reihenfolge eingeplant sind.

## 4.5 Mathematische Formulierung des Tagesmodells

### 4.5.1 Zielfunktion des Tagesmodells

Das Ziel ist, eine Kombination der binären Entscheidungsvariable  $x_{rsl}$  so zu wählen, dass die Summe der Zielfunktionswerte minimiert wird. Sie nimmt den Wert 1 an, wenn eine Lehrveranstaltung  $l$  im Unterrichtsraum  $r$  zur Schulstunde  $s$  stattfindet.<sup>143</sup>

<b>Mengen und deren Elemente</b>	
$r \in R$	Menge der Unterrichtsräume
$s, \tilde{s} \in S$	Menge der Schulstunden
$l, \tilde{l} \in L$	Menge der Lehrveranstaltungen
<b>Entscheidungsvariable</b>	
$x_{rsl} \in \{0, 1\}$	Die Variable $x_{rsl}$ nimmt den Wert 1 an, wenn die Lehrveranstaltung $l$ im Unterrichtsraum $r$ zur Schulstunde $s$ stattfindet.

Die Zielfunktion 4.41 stellt die Summe von 16 Zielfunktionswerten für Partialziele dar. Diese werden in den folgenden Abschnitten ausführlich dargestellt. Die Summe der Zielfunktionswerte soll minimiert werden.

$$\min \sum_{i=1}^{16} Z_i \tag{4.41}$$

Die Partialziele werden in den folgenden Abschnitten im einzelnen erläutert.

<sup>143</sup>Bitte vergleichen Sie hierzu die äquivalente Formulierung der Zielfunktion für das Wochenmodell in Abschnitt 4.3.1, S. 72.

## 4.5.2 Nebenbedingungen zur Kapazität der Unterrichts- räume

Im Rahmen des Tagesmodells werden im Gegensatz zum Wochenmodell keine Raumtypen, sondern konkrete Unterrichtsräume abgebildet. Diese verfügen zu jeder Schulstunde  $s$  über  $kRS_{rs}$  Kapazitätseinheiten. Nach Annahme B2-02 kann für jeden Unterrichtsraum bestimmt werden, dass dessen Kapazität zu keiner Schulstunde überschritten werden soll.<sup>144</sup>

---

<b>Parameter</b>	
$oR_r$	Der Wert des Parameters $oR_r$ ist 1, wenn zu jeder Schulstunde für den Unterrichtsraum $r$ geprüft werden soll, ob mehr von dessen Kapazität beansprucht wird, als vorhanden ist.
$kLR_{lr}$	Der Parameter $kLR_{lr}$ bildet den Kapazitätsbedarf der Lehrveranstaltung $l$ in Unterrichtsraum $r$ ab.
$kRS_{rs}$	Der Parameter $kRS_{rs}$ bildet die Kapazität des Unterrichtsraums $r$ zur Schulstunde $s$ ab.
$bR_r$	Jede Überschreitung der Kapazität des Unterrichtsraums $r$ wird mit $bR_r$ Strafpunkten bestraft.

---

<b>Entscheidungsvariable</b>	
$aRS_{rs} \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aRS_{rs}$ bildet das Ausmaß der Verletzung ab, wenn die Kapazität des Unterrichtsraums $r$ zur Schulstunde $s$ überschritten ist.

---

$$\sum_{l \in L} x_{rsl} \cdot kLR_{lr} - aRS_{rs} \leq kRS_{rs} \quad r \in R, s \in S, oR_r = 1 \quad (4.42)$$

$$\sum_{\substack{r \in R \\ oR_r = 1}} \sum_{s \in S} aRS_{rs} \cdot bR_r = Z_1 \quad (4.43)$$

In den Ungleichungen (4.42) wird geprüft, ob zur Schulstunde  $s$  die Kapazität des Unterrichtsraums  $r$  überschritten ist. Das Ausmaß der Kapazitätsüberschreitung wird über die Gleichung (4.43) in der Zielfunktion entsprechend bestraft.

---

<sup>144</sup> Bitte vergleichen Sie hierzu die äquivalente Formulierung der Nebenbedingung für das Wochenmodell in Abschnitt 4.3.2, S. 72.

### 4.5.3 Nebenbedingungen zur Einplanung der Lehrveranstaltungen

#### 4.5.3.1 Alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen vollständig eingeplant werden

Für jede Lehrveranstaltung ist nach Annahme C2-04 festgelegt, dass deren Unterrichtsstunden vollständig eingeplant werden sollen.<sup>145</sup>

---

	<b>Parameter</b>
$sL_l$	Der Parameter $sL_l$ bildet die Anzahl der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung $l$ ab.
$bL_l$	Jede nicht eingeplante Unterrichtsstunde der Lehrveranstaltung $l$ verursacht $bL_l$ Strafpunkte.

---

	<b>Entscheidungsvariable</b>
$aL_l \in \mathbf{R}_0^+$	Mit der Entscheidungsvariablen $aL_l$ wird das Ausmaß der Verletzung bestimmt, wenn nicht alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung eingeplant sind.

---

$$\sum_{r \in R} \sum_{s \in S} x_{rsl} + aL_l = sL_l \quad l \in L \quad (4.44)$$

$$\sum_{l \in L} aL_l \cdot bL_l = Z_2 \quad (4.45)$$

Die Anzahl der zu wenig eingeplanten Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung  $l$  wird mit den Gleichungen (4.44) berechnet und mit der Gleichung (4.45) in der Zielfunktion bestraft.

*Die Lehrveranstaltung **Geschichte der Schulklasse 1a** umfasst zwei Unterrichtsstunden, die alle eingeplant werden sollen. Der Wert des Parameters  $bL_l$  beträgt daher 2.*

#### 4.5.3.2 Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt zu einer bestimmten Schulstunde stattfinden

Der Annahme C2-05 zufolge kann für eine Lehrveranstaltung festgelegt werden, dass alle Unterrichtsstunden zur Schulstunde  $s$  stattfinden sollen.<sup>146</sup>

---

<sup>145</sup> Vgl. die äquivalente Formulierung der Nebenbedingung für das Wochenmodell in Abschnitt 4.3.3.1, S. 74.

<sup>146</sup> Vgl. die äquivalente Formulierung der Nebenbedingung für das Wochenmodell in Abschnitt 4.3.3.3, S. 76.

<b>Parameter</b>	
$oLvS_{ls}$	Der Wert des Parameters $oLvS_{ls}$ ist 1, wenn die Lehrveranstaltung $l$ zur Schulstunde $s$ stattfinden soll.
$bLvS_l$	Jede Unterrichtsstunde der Lehrveranstaltung $l$ , die nicht zur bevorzugten Schulstunde stattfindet, verursacht $bLvS_l$ Strafpunkte.
$sL_l$	Der Parameter $sL_l$ bildet die Anzahl der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung $l$ ab.
<b>Entscheidungsvariable</b>	
$aLvS_{ls} \in \mathbf{R}_0^+$	Mit der Entscheidungsvariablen $aLvS_{ls}$ wird das Ausmaß der Verletzung bestimmt, wenn nicht alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung zur bevorzugten Schulstunde $s$ stattfinden.

$$\sum_{r \in R} x_{rsl} + aLvS_{ls} = sL_l \quad l \in L, s \in S, oLvS_{ls} = 1 \quad (4.46)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{\substack{s \in S \\ oLvS_{ls} = 1}} aLvS_{ls} \cdot bLvS_l = Z_3 \quad (4.47)$$

Alle Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung  $l$  sollen zur bevorzugten Schulstunde  $s$  stattfinden. Wenn diese Forderung verletzt ist, dann wird in den Gleichungen (4.46) das Ausmaß der Verletzung festgestellt und über die Gleichung (4.47) in der Zielfunktion bestraft.

*Der Lehrer de Gaulle wünscht, dass die von ihm gehaltene einstündige Lehrveranstaltung **Geschichte** der Schulklassen 2a in der ersten Schulstunde stattfindet. Jede Einplanung der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung **Geschichte** zu einer anderen Schulstunde als der ersten wird entsprechend bestraft.*

### 4.5.3.3 Eine Lehrveranstaltung soll bevorzugt in einem bestimmten Unterrichtsraum stattfinden

Nach Annahme C2-06 kann für jede Lehrveranstaltung  $l$  festgelegt werden, dass deren Unterrichtsstunden bevorzugt im Unterrichtsraum  $r$  stattfinden sollen.<sup>147</sup>

<sup>147</sup> Vgl. die äquivalente Formulierung der Nebenbedingung für das Wochenmodell in Abschnitt 4.3.3.4, S. 77.

<b>Parameter</b>	
$oLvR_{lr}$	Der Wert des Parameters $oLvR_{lr}$ ist 1, wenn die Lehrveranstaltung $l$ im Unterrichtsraum $r$ stattfinden soll.
$bLvR_l$	Jede Unterrichtsstunde der Lehrveranstaltung $l$ , die nicht im bevorzugten Unterrichtsraum $r$ stattfindet, verursacht $bLvR_l$ Strafpunkte.
$sL_l$	Der Parameter $sL_l$ bildet die Anzahl der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung $l$ ab.
<b>Entscheidungsvariable</b>	
$aLvR_{lr} \in \mathbf{R}_0^+$	Mit der Entscheidungsvariablen $aLvR_{lr}$ wird das Ausmaß der Verletzung bestimmt, wenn nicht alle Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung im bevorzugten Unterrichtsraum $r$ stattfinden.

$$\sum_{s \in S} x_{rsl} + aLvR_{lr} = sL_l \quad l \in L, r \in R, oLvR_{lr} = 1 \quad (4.48)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{\substack{r \in R \\ oLvR_{lr}=1}} aLvR_{lr} \cdot bLvR_l = Z_4 \quad (4.49)$$

Mit den Gleichungen (4.48) wird festgestellt, ob  $sL_l$  Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung  $l$  im bevorzugten Unterrichtsraum  $r$  stattfinden. Jede Unterschreitung wird durch die Gleichung (4.49) bestraft.

*Der Lehrer Wandel wünscht, dass die von ihm gehaltene zweistündige Lehrveranstaltung **Sport** der Schulklasse 2a in der „Turnhalle“ stattfindet. Jede Einplanung der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung **Sport**, die nicht in der „Turnhalle“ stattfindet, wird entsprechend bestraft.*

#### 4.5.3.4 Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen den geeignetsten Schulstunden zugeordnet werden

Basierend auf Annahme C2-07 kann für eine Lehrveranstaltung festgelegt werden, dass deren Unterrichtsstunden an den geeignetsten Schulstunden stattfinden. Die Eignung einer Schulstunde wird durch den Parameter  $bLmS_{ls}$  ausgedrückt. Je kleiner der jeweilige Wert ist, desto höher ist die Eignung der Schulstunde.

---

	<b>Parameter</b>
$oLmS_l$	Der Wert des Parameters $oLmS_l$ beträgt 1, wenn die Lehrveranstaltung $l$ den geeignetsten Schulstunden zugeordnet werden soll.
$bLmS_{ls}$	Der Wert des Parameters $bLmS_{ls}$ drückt die mit Einplanung der Lehrveranstaltung $l$ zur Schulstunde $s$ verbundene Eignung aus.

---

$$\sum_{\substack{l \in L \\ oLmS_l = 1}} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} x_{rsl} \cdot bLmS_{ls} = Z_5 \quad (4.50)$$

Mit Hilfe der Gleichung (4.50) wird gewährleistet, dass eine Lehrveranstaltung  $l$  nur den geeignetsten Schulstunden zugeordnet wird.

*Im Rahmen des zehnstündigen Unterrichtstags sind die ersten 3 Schulstunden des Unterrichtstags am geeignetsten. Die jeweiligen Parameter  $bLmS_{ls}$  wird in Bezug auf die Lehrveranstaltung Englisch der Schulklasse 1a der Wert 1 beigemessen. Der Wert des Parameters  $bLmS_{ls}$  beträgt 100 für die Schulstunden 4-6 und 1000 für die restlichen 4 Schulstunden. Demnach sind die ersten drei Unterrichtsstunden für die Einplanung der Lehrveranstaltung Englisch geeigneter als die restlichen sieben.*

Diese Nebenbedingung muss zu scharf zu den Gleichungen (4.46) und (4.47) abgegrenzt werden. Diese Nebenbedingungen dafür sorgen sollen, dass die jeweilige Lehrveranstaltung genau einer bestimmten Schulstunde zugeordnet wird. Die Gleichung (4.50) setzt hingegen voraus, dass alle Schulstunden gemäß ihrer Eignung bewertet sind. Die Lehrveranstaltungen werden gemäß der gewählten Eignungsskala eingeplant.

#### 4.5.3.5 Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen den geeignetsten Unterrichtsräumen zugeordnet werden

Die Eignung eines Unterrichtsraums für eine Lehrveranstaltung  $l$  wird durch den Parameter  $bLmR_{lr}$  ausgedrückt. Ein geringer Wert des Parameters ist gleichzusetzen mit einer hohen Eignung des Unterrichtsraums. Für jede Lehrveranstaltung kann nach Annahme C2-08 bestimmt werden, dass deren Unterrichtsstunden nur den geeignetsten Unterrichtsräumen zugeordnet werden.

---

	<b>Parameter</b>
$oLmR_l$	Der Wert des Parameters $oLmR_l$ beträgt 1, wenn die Lehrveranstaltung $l$ den geeignetsten Unterrichtsräumen zugeordnet werden soll.
$bLmR_{lr}$	Der Wert des Parameters $bLmR_{lr}$ drückt die mit Einplanung der Lehrveranstaltung $l$ in Unterrichtsraum $r$ verbundenen Eignung aus.

---

$$\sum_{\substack{l \in L \\ oLmR_l = 1}} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} x_{rsl} \cdot bLmR_{lr} = Z_6 \quad (4.51)$$

Durch die Gleichung (4.51) wird sichergestellt, dass eine Lehrveranstaltung  $l$  in den geeignetsten Unterrichtsräumen  $r$  stattfindet.

#### 4.5.3.6 Die Unterrichtsstunden einer Lehrveranstaltung sollen nicht bestimmten Kombinationen aus Zeitraum und Unterrichtsraum zugeordnet werden

Basierend auf Annahme C2-09 kann für eine Lehrveranstaltung festgelegt werden, dass sie nicht bestimmten Einplanungsalternativen zugeordnet werden soll.<sup>148</sup>

---

	<b>Parameter</b>
$oLnRS_{rst}$	Der Wert des Parameters $oLnRS_{rst}$ ist gleich 1, wenn die Lehrveranstaltung $l$ nicht der Schulstunde $s$ und Unterrichtsraum $r$ zugeordnet und die Nebenbedingung weich formuliert werden soll. Der Wert des Parameters $oLnYTS_{ytsl}$ ist gleich 2, wenn die Lehrveranstaltung $l$ nicht der Schulstunde $s$ und Unterrichtsraum $r$ zugeordnet und die Nebenbedingung hart formuliert werden soll.
$bLnRS_{rst}$	Wenn die Lehrveranstaltung $l$ der Schulstunde $s$ und Unterrichtsraum $r$ zugeordnet ist, dann werden $bLnRS_{rst}$ Strafpunkte verursacht.

---

<sup>148</sup>Vgl. die äquivalente Formulierung der Nebenbedingung für das Wochenmodell in Abschnitt 4.3.3.5, S. 78.

$$\sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{\substack{l \in L \\ oLnRS_{rsl}=1}} x_{rst} \cdot bLnRS_{rst} = Z_7 \quad (4.52)$$

$$x_{rst} = 0 \quad r \in R, s \in S, l \in L, oLnRS_{rst} = 2 \quad (4.53)$$

Es muss für jede unerwünschte Einplanungsalternative angegeben werden, ob die entsprechende Nebenbedingung hart oder weich formuliert werden soll. Bei einer weichen Formulierung wird mit der Gleichung (4.52) jede unerwünschte Zuordnung zu einem Unterrichtsraum bzw. zu einer Schulstunde berechnet und in der Zielfunktion entsprechend bestraft. Die harte Formulierung dieser Nebenbedingungen wird mit der Gleichung (4.53) beschrieben.

*Die zweistündige Lehrveranstaltung Geschichte der Schulklasse 2a zu keiner Schulstunde in der Turnhalle stattfinden.*

Jede Einplanung der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung **Geschichte** in der Turnhalle wird entsprechend bestraft, sofern diese Nebenbedingung weich formuliert ist.

Die Nebenbedingungen (4.46) bis (4.53) sind im Grunde redundant, die auch in einer Nebenbedingung zusammenfassen werden könnten. In dieser Arbeit wird allerdings eine redundante Formulierung bevorzugt, was ab der Seite 29 ausführlich erläutert wird.

#### 4.5.4 Nebenbedingungen zur Einplanung der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppen

##### 4.5.4.1 Es soll mehr als eine Lehrveranstaltung einer Bezugsgruppe zu einer Schulstunde stattfinden

Zwischen den Lehrveranstaltungen können Abhängigkeiten bestehen, die bei deren Einplanung zu berücksichtigen sind. Diese werden durch Bezugsgruppen abgebildet.<sup>149</sup>

---

	<b>Mengen und deren Elemente</b>
$b \in B$	Menge aller Bezugsgruppen
$BJ_b$	Menge aller Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$

---

Für jede Bezugsgruppe kann nach Annahme D2-02 festgelegt werden, dass

<sup>149</sup>In Abschnitt 4.3.4.1 ab S. 79 wird der Unterschied zwischen Unterrichtsbändern und Parallelgruppen ausführlich erklärt.

zu einer Schulstunde mehr als eine Lehrveranstaltung stattfindet. Dazu werden entweder Parallelgruppen oder Unterrichtsbänder gebildet. Zunächst werden die Parallelgruppen betrachtet.

---

<b>Parameter</b>	
$oBxp_b$	Der Wert des Parameters $oBxp_b$ ist 1, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ eine Parallelgruppe bilden sollen.
$sBxpS_b$	Zu einer Schulstunde dürfen nicht mehr als $sBxpS_b$ Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ stattfinden.
$sBxpd_b$	Die Bezugsgruppe $b$ soll an $sBxpd_b$ Schulstunden stattfinden.
$bBxpd_b$	Wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ auf mehr als die vorgesehenen $sBxpd_b$ Schulstunden verteilt sind, dann wird jede zuviel eingeplante Schulstunde mit $bBxpd_b$ Strafpunkten bestraft.

---

<b>Entscheidungsvariablen</b>	
$zBxpdS_{bs} \in \{0, 1\}$	Die Entscheidungsvariable $zBxpdS_{bs}$ nimmt den Wert 1 an, wenn zur Schulstunde $s$ mindestens eine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe $b$ eingeplant ist.
$aBxpd_b \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBxpd_b$ beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ auf mehr als $sBxpd_b$ Schulstunden eingeplant sind.

---

$$\sum_{r \in R} \sum_{l \in BJ_b} x_{rsl} \leq sBxpS_b \cdot zBxpdS_{bs} \quad s \in S,$$

$$b \in B, oBxp_b = 1 \quad (4.54)$$

$$\sum_{s \in S} zBxpdS_{bs} - aBxpd_b \leq sBxpd_b \quad b \in B, oBxp_b = 1 \quad (4.55)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBxp_b = 1}} aBxpd_b \cdot bBxpd_b = Z_8 \quad (4.56)$$

Durch die Ungleichungen (4.54) und (4.55) wird sichergestellt, dass nicht mehr als  $sBxpS_b$  Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$  zu einer Schulstunde  $s$  stattfinden. Die Entscheidungsvariable  $zBxpdS_{bs}$  nimmt den Wert 1 an, wenn mindestens eine Unterrichtsstunde zu einer Schulstunde  $s$  eingeplant wird. Wenn die Bezugsgruppe an mehr als  $sBxpd_b$  Schulstunden statt-

findet, dann wird das Ausmaß der Verletzung durch die Entscheidungsvariable  $aBxp_d_b$  abgebildet. Diese wird über die Gleichung (4.56) in der Zielfunktion entsprechend bestraft.

Das Unterrichtsband, das im Folgenden betrachtet wird, stellt eine spezielle Ausprägung der Parallelgruppe dar.

---

	<b>Parameter</b>
$oBxp_b$	Der Wert des Parameters ist 2, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ ein Unterrichtsband bilden sollen.
$sBpL_{bl}$	Der Parameter $sBpL_{bl}$ beschreibt die Anzahl der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die zusammen mit der Lehrveranstaltung $l$ zu einer Schulstunde stattfinden sollen.

---

	<b>Entscheidungsvariablen</b>
$zBxpS_{bs} \in \{0, 1\}$	Die Entscheidungsvariable $zBxpS_{bs}$ nimmt den Wert 1 an, wenn zur Schulstunde $s$ exakt $sBpL_{bl}$ Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ eingeplant sind.

---

$$\sum_{r \in R} \sum_{l \in BJ_b} \frac{x_{rsl}}{sBpL_{bl}} = zBxpS_{bs} \quad s \in S, \quad b \in B, \quad oBxp_b = 2 \quad (4.57)$$

Mit den Gleichungen (4.57) wird sichergestellt, dass zu einer Schulstunde entweder keine oder  $sBpL_{bl}$  Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen des Unterrichtsbands eingeplant werden.

#### 4.5.4.2 Die Anzahl der gleichzeitig stattfindenden Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe soll nach oben bzw. unten beschränkt werden

Für jede Bezugsgruppe kann nach Annahme D2-03 festgelegt werden, dass die Anzahl der Lehrveranstaltungen, die zur gleichen Schulstunde stattfinden, beschränkt wird.<sup>150</sup>

---

	<b>Mengen und deren Elemente</b>
$v \in V$	Menge der Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppen

<sup>150</sup>In Abschnitt 4.3.4.2 ab S. 82 wird diese Nebenbedingung und der Zusammenhang mit den Parallelgruppen und Unterrichtsbandern ausführlich erläutert.

$BV_{bv}$	Menge aller Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ und der Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppe $v$
<b>Parameter</b>	
$oBV_b$	Der Wert des Parameters $oBV_b$ ist 1, wenn bestimmte Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ nicht gleichzeitig stattfinden sollen.
$bBV_{bv}$	Wenn zwei oder mehr Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen, die der gleichen Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppe $v$ der Bezugsgruppe $b$ zugeordnet sind, gleichzeitig stattfinden, dann wird jede zuviel eingeplante Unterrichtsstunde mit $bBV_{bv}$ Strafpunkten bestraft.
$sBpL_{bl}$	Der Parameter $sBpL_{bl}$ beschreibt die Anzahl der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die zusammen mit der Lehrveranstaltung $l$ zu einer Schulstunde stattfinden sollen.
<b>Entscheidungsvariable</b>	
$aBV_{bvs} \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBV_{bvs}$ beschreibt des Ausmaß der Verletzung, wenn mehr als eine Unterrichtsstunde Lehrveranstaltung der Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppe $v$ der Bezugsgruppe $b$ zur Schulstunde $s$ eingeplant ist.

$$\sum_{r \in R} \sum_{l \in BV_{bv}} \frac{x_{rsl}}{sBpL_{bl}} - aBV_{bvs} \leq 1 \quad s \in S, b \in B, \quad v \in V, oBV_b = 1 \quad (4.58)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBV_b = 1}} \sum_{v \in V} \sum_{s \in S} aBV_{bvs} \cdot bBV_{bv} = Z_9 \quad (4.59)$$

Wenn mehr als eine Unterrichtsstunde der Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppe  $v$  zu einer Schulstunde  $s$  eingeplant ist, dann wird das Ausmaß der Verletzung in den Ungleichungen (4.58) berechnet und mittels der Gleichung (4.59) in der Zielfunktion bestraft.

### 4.5.4.3 Nebenbedingungen zur Berechnung der binären Variablen $zBS_{bs}$ , die bemisst, ob mindestens eine Lehrveranstaltung einer Bezugsgruppe zu einer bestimmten Schulstunde eingeplant ist

Die binäre Entscheidungsvariable  $zBTS_{bts}$  wird in den Nebenbedingungssystemen verwendet, die in den Abschnitten 4.5.4.4, 4.5.4.5 und 4.5.4.6 näher erläutert werden. Sie muss berechnet werden, wenn für eine Bezugsgruppe  $b$  mindestens eine der drei dort beschriebenen Nebenbedingungen eingehalten werden soll.<sup>151</sup>

	<b>Menge</b>
$BP_b$	Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die nicht im Plenum gehalten werden sollen.
	<b>Parameter</b>
$oBS_b$	Der Wert des Parameters $oBS_b$ beträgt 1, wenn für Bezugsgruppe $b$ die Variable $zBS_{bs}$ berechnet werden soll.
$kB_b$	Der Parameter $kB_b$ beschreibt die Anzahl der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen, die der Bezugsgruppe $b$ zugeordnet ist.
	<b>Entscheidungsvariable</b>
$zBS_{bs} \in \{0, 1\}$	Der Wert der Entscheidungsvariablen $zBS_{bs}$ beträgt 1, wenn zur Schulstunde $s$ mindestens eine Lehrveranstaltung der Menge $BP_b$ eingeplant ist.

$$\sum_{r \in R} \sum_{l \in BP_b} x_{rsl} \leq kB_b \cdot zBS_{bs} \quad b \in B, s \in S, oBS_b = 1 \quad (4.60)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{l \in BP_b} x_{rsl} \geq zBS_{bs} \quad b \in B, s \in S, oBS_b = 1 \quad (4.61)$$

Die Ungleichungen (4.60) und (4.61) stellen sicher, dass die Variable  $zBS_{bs}$  genau dann den Wert 1 annimmt, wenn mindestens eine Lehrveranstaltung  $l$  der Bezugsgruppe  $b$  zur Schulstunde  $s$  stattfindet.

<sup>151</sup> In Abschnitt 4.3.4.9 ab S. 94 wird diese Nebenbedingung und der Zusammenhang zwischen allen Mengen einer ausführlich erläutert.

#### 4.5.4.4 Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht an mehr als einer bestimmten Anzahl an Schulstunden innerhalb einer Zeitspanne stattfinden

Basierend auf Annahme D2-04 kann für eine Bezugsgruppe festgelegt werden, dass innerhalb einer Zeitspanne die Anzahl der Schulstunden, an denen mindestens eine Lehrveranstaltung stattfindet, beschränkt wird.<sup>152</sup>

*Der Lehrer deGaulle ist aus gesundheitlichen Gründen darauf angewiesen, dass im Laufe eines Unterrichtstags ausreichend freie Schulstunden eingeplant werden. Deshalb wird festgelegt, dass er in einer Zeitspanne von acht Schulstunden nicht an mehr als fünf Schulstunden Unterricht geben soll. Das bedeutet, dass zwischen der ersten und achten, zweiten und neunten sowie dritten und zehnten jeweils mindestens zwei freie Schulstunden eingeplant werden sollen.*

	<b>Menge</b>
$BN_b$	Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die im Plenum gehalten werden sollen.
	<b>Parameter</b>
$oBrx_b$	Der Wert des Parameters $oBrx_b$ beträgt 1, wenn die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe nicht an mehr Schulstunden innerhalb einer Zeitspanne als vorgesehen stattfinden soll.
$sBr_b$	Der Parameter $sBr_b$ beschreibt die Länge einer Zeitspanne von aufeinanderfolgenden Schulstunden.
$sBrx_b$	Der Parameter $sBrx_b$ beschreibt die maximale Anzahl an Schulstunden, an denen mindestens eine Lehrveranstaltung einer Bezugsgruppe stattfindet, innerhalb einer Zeitspanne der Länge $sBr_b$ .
$bBrx_b$	Wenn an zu vielen Schulstunden innerhalb der Zeitspanne mindestens eine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe $b$ stattfindet, dann werden $bBrx_b$ Strafpunkte verursacht.

<sup>152</sup>Eine Nebenbedingung, die nach dem gleichen Prinzip formuliert ist, wird in Abschnitt 4.3.4.7 ab Seite 91 ausführlich erläutert.

$sBpL_{bl}$  Der Parameter  $sBpL_{bl}$  beschreibt die Anzahl der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$ , die zusammen mit der Lehrveranstaltung  $l$  zu einer Schulstunde stattfinden sollen.

**Entscheidungsvariablen**

$aBrx_{bs} \in \mathbf{R}_0^+$  Die Entscheidungsvariable  $aBrx_{bs}$  beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn an zu vielen Schulstunden innerhalb der Zeitspanne mindestens eine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe  $b$  stattfindet.

$zBS_{bs} \in \{0, 1\}$  Der Wert der Entscheidungsvariablen  $zBS_{bs}$  beträgt 1, wenn zur Schulstunde  $s$  mindestens eine Lehrveranstaltung der Menge  $BP_b$  eingeplant ist.

$$\begin{aligned} & \sum_{\substack{\bar{s} \in S \\ ord(s) \leq ord(\bar{s}) \\ ord(\bar{s}) \leq ord(s) + sBr_b}} zBS_{b\bar{s}} \\ & + \sum_{\substack{\bar{s} \in S \\ ord(s) \leq ord(\bar{s}) \\ ord(\bar{s}) \leq ord(s) + sBr_b}} \sum_{l \in BN_b} \sum_{r \in R} \frac{x_r \bar{s} l}{sBpL_{bl}} \\ & - aBrx_{bs} \leq sBrx_b \end{aligned} \quad \begin{aligned} & b \in B, \quad oBrx_b = 1, \\ & s \in S, \\ & ord(s) < card(s) - sBz_b \quad (4.62) \end{aligned}$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBrx_b = 1}} \sum_{s \in S} aBrx_{bs} \cdot bBrx_b = Z_{10} \quad (4.63)$$

In den Ungleichungen (4.62) wird ermittelt, auf wie viele Schulstunden die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe innerhalb der Zeitspanne von  $sBr_b$  Schulstunden verteilt sind. Jede zuviel eingeplante Schulstunde wird mittels der Gleichung (4.63) in der Zielfunktion bestraft.

**4.5.4.5 Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nicht durch eine lange Pause unterbrochen werden**

Wenn Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe aufeinanderfolgend eingeplant sein sollen, dann kann es Annahme D2-05 zufolge unerwünscht sein, dass dazwischen eine lange Pause stattfindet.

	<b>Menge</b>
$BN_b$	Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die im Plenum gehalten werden sollen.
	<b>Parameter</b>
$oBlu_b$	Der Wert des Parameters $oBlu_b$ beträgt 1, wenn die aufeinanderfolgenden Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ nicht durch eine lange Pause unterbrochen werden sollen.
$sSlu_s$	Der Wert des Parameters $sSlu_s$ beträgt 1, wenn auf eine Schulstunde $s$ eine lange Pause folgt.
$bBlu_b$	Wenn zwischen zwei aufeinanderfolgend eingeplanten Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe $b$ eine lange Pause eingeplant ist, dann werden $bBlu_b$ Strafpunkte verursacht.
$sBpL_{bl}$	Der Parameter $sBpL_{bl}$ beschreibt die Anzahl der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die zusammen mit der Lehrveranstaltung $l$ zu einer Schulstunde stattfinden sollen.
	<b>Entscheidungsvariablen</b>
$aBlu_{bs} \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBlu_{bs}$ beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn zwischen zwei aufeinanderfolgend eingeplanten Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe $b$ eine lange Pause eingeplant ist.
$zBS_{bs} \in \{0, 1\}$	Der Wert der Entscheidungsvariablen $zBS_{bs}$ beträgt 1, wenn zur Schulstunde $s$ mindestens eine Lehrveranstaltung der Menge $BP_b$ eingeplant ist.

$$\begin{aligned} & \left( zBS_{b(s+1)} + \sum_{l \in BN_b} \sum_{r \in R} \frac{x_{r(s+1)l}}{sBpL_{bl}} \right) \\ & + \left( zBS_{bs} + \sum_{l \in BN_b} \sum_{r \in R} \frac{x_{rsl}}{sBpL_{bl}} \right) - aBlu_{bs} \leq 1 \quad b \in B, \\ & s \in S, \\ & oBlu_b = 1, \\ & sSlu_s = 1, \\ & ord(s) < card(s) \quad (4.64) \end{aligned}$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBlu_b = 1}} \sum_{s \in S} aBlu_{bs} \cdot bBlu_b = Z_{11} \quad (4.65)$$

Für jede Schulstunde  $s$ , an die sich eine lange Pause anschließt, wird in den Ungleichungen (4.64) geprüft, ob sowohl zur Schulstunde  $s$  als auch zur Schulstunde  $s + 1$  mindestens eine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe  $b$  eingeplant ist. In diesem Fall ist die Nebenbedingung verletzt und wird durch Gleichung (4.65) in der Zielfunktion entsprechend bestraft.

*Im Anschluss an die zweite, vierte, sechste und achte Schulstunde eines Unterrichtstags folgen eine lange Pausen. Wenn die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe aufeinanderfolgend eingeplant werden sollen, aber nicht durch eine lange Pause unterbrochen werden sollen, dann dürfen sie nicht zur zweiten und dritten, vierten und fünften, sechsten und siebten oder achten und neunten Schulstunde des Unterrichtstags eingeplant werden.*

#### 4.5.4.6 Zwischen den Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe soll nicht mehr als eine festgelegte Anzahl an Freistunden pro Unterrichtstag eingeplant werden

Wenn mehrere Lehrveranstaltungen an einem Unterrichtstag eingeplant werden sollen, dann kann nach Annahme D2-06 festgelegt werden, dass zwischen ihnen nicht mehr als eine festgelegte Anzahl an Freistunden stattfinden.<sup>153</sup>

---

##### Mengen und deren Elemente

$BN_b$  Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$ , die im Plenum gehalten werden sollen.

---

<sup>153</sup> Eine Nebenbedingung, die nach dem gleichen Prinzip formuliert ist, wird in Abschnitt 4.3.4.6 ab Seite 89 ausführlich erläutert.

$BJ_b$	Menge aller Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$
<b>Parameter</b>	
$oBt_b$	Der Wert des Parameters $oBt_b$ beträgt 1, wenn nicht mehr als eine vorgegebene Anzahl an Freistunden eingeplant werden sollen.
$sBt_b$	Der Parameter $sBt_b$ beschreibt die Anzahl der Freistunden, die maximal eingeplant werden sollen.
$bBt_b$	Jede zuviel eingeplante Freistunde verursacht $bBt_b$ Strafpunkte.
$sBpL_{bl}$	Der Parameter $sBpL_{bl}$ beschreibt die Anzahl der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die zusammen mit der Lehrveranstaltung $l$ zu einer Schulstunde stattfinden sollen.
$kB_b$	Der Parameter $kB_b$ beschreibt die Anzahl der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen, die der Bezugsgruppe $b$ zugeordnet ist.
<b>Entscheidungsvariablen</b>	
$zBt1_{bs} \in \{0, 1\}$	Die Entscheidungsvariable $zBt1_{bs}$ nimmt stets den Wert 1 an, wenn mindestens eine Unterrichtsstunde einer Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe $b$ zur Schulstunde $s$ eingeplant ist. Sie kann auch den Wert 0 annehmen, wenn keine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe $b$ zur Schulstunde $s$ stattfindet, 0 sonst.
$zBt2_{bs} \in \{0, 1\}$	Die Entscheidungsvariable $zBt2_{bs}$ nimmt stets den Wert 1 an, wenn das Ergebnis aus der Subtraktion der Entscheidungsvariablen $zBt1_{bs}$ und $zBt1_{b(s-1)}$ 1 ist. Die Entscheidungsvariable $zBt2_{bs}$ kann den Wert 1 annehmen, wenn das Ergebnis aus der Subtraktion der Entscheidungsvariablen $zBt1_{bs}$ und $zBt1_{b(s-1)}$ kleiner als 1 ist, 0 sonst.
$aBt_b \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBt_b$ beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn mehr Freistunden als vorgesehen eingeplant sind.
$zBS_{bs} \in \{0, 1\}$	Der Wert der Entscheidungsvariablen $zBS_{bs}$ beträgt 1, wenn zur Schulstunde $s$ mindestens eine Lehrveranstaltung der Menge $BP_b$ eingeplant ist.

Kapitel 4: Mathematische Modellierung des Problems

$$\sum_{l \in BJ_b} \sum_{r \in R} x_{rsl} \leq kB_b \cdot zBt1_{bs} \quad b \in B, s \in S, oBt_b = 1 \quad (4.66)$$

$$zBt1_{b(s-1)} - zBt1_{bs} \leq kB_b \cdot zBt2_{bs} \quad b \in B, s \in S, \\ ord(s) > 1, oBt_b = 1 \quad (4.67)$$

$$\sum_{\substack{s \in S \\ ord(s) > 1}} zBt1_{bs} + zBt2_{b\tilde{s}} \leq 1 \quad b \in B, oBt_b = 1, \\ \tilde{s} = card(s) \quad (4.68)$$

$$\sum_{s \in S} zBt1_{bs} - \sum_{s \in S} \sum_{r \in R} \sum_{l \in BN_b} \frac{x_{rsl}}{sBpL_{bl}} \\ - \sum_{s \in S} zBS_{bs} - aBt_b \leq sBt_b \quad b \in B, oBt_b = 1 \quad (4.69)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBt_b = 1}} aBt_b \cdot bBt_b = Z_{12} \quad (4.70)$$

Freistunden sind nur dann Freistunden, wenn davor und danach jeweils mindestens eine Unterrichtsstunde eingeplant ist. Wenn eine Schulklasse erst zur zweiten Schulstunde Unterricht hat, dann gilt die erste freie Schulstunde nicht als Freistunde. Wenn nach der siebten Schulstunde kein weiterer Unterricht mehr eingeplant ist, dann gelten die restlichen Schulstunden ebenfalls nicht als Freistunden. Es gilt also zunächst herauszufinden, wie viele Schulstunden die Zeitspanne zwischen Unterrichtsbeginn und -ende umfasst.

Durch die Ungleichungen (4.66) nimmt der Wert der Entscheidungsvariablen  $zBt1_{bs}$  auf jeden Fall den Wert 1 an, wenn zu einer Schulstunde  $s$  mindestens eine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe eingeplant ist. Sie kann aber auch den Wert 1 annehmen, wenn zu dieser Schulstunde eine Freistunde stattfindet. Mit den Ungleichungen (4.68) wird erzwungen, dass alle Schulstunden, an denen die Variablen  $zBt1_{bs}$  den Wert 1 annimmt, aufeinanderfolgen. Dadurch kann die Zeitspanne zwischen Unterrichtsbeginn und -ende durch die Berechnung Summe der Werte der Variablen  $zBt1_{bs}$  über alle Schulstunden in (4.69) ermittelt werden.

Es gilt, dass diese Summe abzüglich der Anzahl der Schulstunden, an denen die Lehrveranstaltungen stattfinden, kleiner oder gleich sein soll als die Anzahl der maximal erlaubten  $sBt_b$  Freistunden. Jede zuviel eingeplante Freistunde wird mit der Gleichung (4.70) in der Zielfunktion bestraft.

#### 4.5.4.7 Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen an einem Unterrichtstag nur im selben Unterrichtsraum stattfinden

Basierend auf Annahme D2-07 kann für eine Bezugsgruppe festgelegt werden, dass alle Lehrveranstaltungen im selben Unterrichtsraum stattfinden. Es wird allerdings vorher nicht festgelegt, um welchen Unterrichtsraum es sich handeln soll.

<b>Menge</b>	
$BJ_b$	Menge aller Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$
<b>Parameter</b>	
$oBR_b$	Der Wert des Parameters $oBR_b$ beträgt 1, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ dem gleichen Unterrichtsraum zugeordnet werden sollen.
$bBR_b$	Jede Unterrichtsstunde der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die nicht im gleichen Unterrichtsraum wie die übrigen Unterrichtsstunden stattfindet, verursacht $bBR_b$ Strafpunkte.
$kB_b$	Der Parameter $kB_b$ beschreibt die Anzahl der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen, die der Bezugsgruppe $b$ zugeordnet ist.
<b>Entscheidungsvariablen</b>	
$aBR_b \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBR_b$ beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn nicht alle Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ im gleichen Unterrichtsraum stattfinden.
$zBR_{br} \in \{0, 1\}$	Die Entscheidungsvariable $zBR_{br}$ wird zur Berechnung einer Schranke für die Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ im Unterrichtsraum $r$ benötigt. Sie nimmt den Wert 1 an, wenn alle Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ im Unterrichtsraum $r$ eingeplant sind.

$$\sum_{l \in BJ_b} \sum_{s \in S} x_{rsl} + aBR_b = kB_b \cdot zBR_{br} \quad b \in B, r \in R, oBR_b = 1 \quad (4.71)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBR_b = 1}} aBR_b \cdot bBR_b = Z_{13} \quad (4.72)$$

Alle  $kB_b$  Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$

sollen in einem Unterrichtsraum stattfinden. Wenn dieses Ziel nicht erreicht wird, dann wird das Ausmaß der Verletzung durch die Gleichungen (4.71) berechnet und mittels der Gleichung (4.72) bestraft.

*Die beiden Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltung Englisch der Bezugsgruppe Englisch 1a der Schulklasse 1a sollen als Doppelstunde eingeplant werden. Damit die Schüler nicht in der Pause den Unterrichtsraum wechseln müssen, wird bestimmt, dass die Doppelstunde im selben Raum stattfindet. Mit den Nebenbedingungen, die in den Abschnitten 4.5.3.3 und 4.5.3.5 beschrieben werden, wird gesteuert, welche Unterrichtsräume für den Unterricht am geeignetsten sind.<sup>154</sup>*

#### 4.5.4.8 Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nur zu bestimmten Zeitfenstern eines Unterrichtstags stattfinden

Eine Schulstunde kann mehreren Zeitfenstern, wie bspw. dem Vormittag oder der Mittagspause, zugeordnet werden. Nach Annahme D2-08 kann für eine Bezugsgruppe festgelegt werden, dass die Lehrveranstaltungen nur zu einem bestimmten Zeitfenster wie bspw. dem „Nachmittag“ stattfinden sollen.

<b>Mengen und deren Elemente</b>	
$BJ_b$	Menge aller Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$
$c \in C$	Menge der Zeitfenster
$CS_c$	Menge der Schulstunden $s$ des Zeitfensters $c$
<b>Parameter</b>	
$oBC_{bc}$	Der Wert des Parameters $oBC_{bc}$ beträgt 1, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ dem Zeitfenster $c$ zugeordnet werden sollen.
$bBC_{bc}$	Jede Unterrichtsstunde der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ , die nicht dem Zeitfenster $c$ zugeordnet sind, verursachen $bBC_{bc}$ Strafpunkte.
$kB_b$	Der Parameter $kB_b$ beschreibt die Anzahl der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen, die der Bezugsgruppe $b$ zugeordnet ist.

<sup>154</sup> Vgl. Abschnitt 4.5.3.3, S. 107 und Abschnitt 4.5.3.5, S. 109.

---

**Entscheidungsvariable** $aBC_{bc} \in \mathbf{R}_0^+$ 

Die Entscheidungsvariable  $aBC_{bc}$  beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn nicht alle Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$  dem Zeitfenster  $c$  zugeordnet sind.

---

$$\sum_{l \in BJ_b} \sum_{r \in R} \sum_{s \in CS_c} x_{rst} + aBC_{bc} = kB_b \quad b \in B, c \in C, oBC_{bc} = 1 \quad (4.73)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBC_{bc}=1}} \sum_{c \in C} aBC_{bc} \cdot bBC_{bc} = Z_{14} \quad (4.74)$$

Mit den Gleichungen (4.73) wird ermittelt, ob alle Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$  dem Zeitfenster  $c$  zugeordnet sind. Wenn weniger als  $kB_b$  Unterrichtsstunden zu diesem Zeitfenster stattfinden, dann wird dies mit der Gleichung (4.74) entsprechend bestraft.

*Alle Lehrveranstaltungen der Schulklasse 1a, die in Bezugsgruppe Unterricht 1a zusammengefasst sind, sollen im Zeitfenster „Vormittag“ stattfinden. Dieses umfasst die ersten sieben Schulstunden eines jeden Unterrichtstags.*

#### 4.5.4.9 Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen so eingeplant werden, dass Wechsel zwischen den Standorten einer Schule keine Unterrichtszeit in Anspruch nehmen

Wenn eine Schule auf mehrere Standorte verteilt ist, dann kann die Dauer eines Wechsels relevant sein. Finden zwei Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe an aufeinanderfolgenden Schulstunden statt, dann ist zu prüfen, ob der Wechsel von einem Standort, an dem die eine Lehrveranstaltung stattfindet, zum anderen Standort, an dem die nächste Lehrveranstaltung stattfindet, innerhalb der dazwischen liegenden Pause bewältigt werden kann. Basierend auf Annahme D2-09 kann festgelegt werden, dass die Strecke nicht in der Unterrichtszeit zurückgelegt werden soll.

Die Bezugsgruppe wird hierzu in Standortwechsel-Gruppen aufgeteilt.

*Neben den vier regulären Schulklassen an der Leibniz-Schule werden zusätzlich 12 Austausch-Schüler in einer Schulklasse zusammengeführt. Sie werden allerdings nur in den Lehrveranstaltungen*

tungen *Deutsch*, *Handball* und *Schwimmen* unterrichtet. Während *Deutsch* für alle verpflichtend ist, dürfen die Schüler zwischen *Handball* und *Schwimmen* wählen. *Handball* findet, ebenso wie *Deutsch*, im Hauptgebäude statt. Die Schwimmhalle ist zehn Minuten vom Hauptgebäude entfernt.

Es werden folgende Standortwechsel-Gruppen gebildet:

1. **Gruppe:** *Deutsch*, *Handball*

2. **Gruppe:** *Deutsch*, *Schwimmen*

Der Grund für die Aufteilung der Lehrveranstaltungen in Standortwechsel-Gruppen wird sofort ersichtlich. Kein Schüler nimmt sowohl am *Handball*, als auch beim *Schwimmen* teil. Es ist daher nicht relevant, ob ein Schüler zwischen *Handball* und *Schwimmen* und damit zwischen den Standorten wechseln kann, weil es keiner muss. Relevant hingegen ist die Prüfung, ob die Schüler zwischen *Deutsch* und *Handball* bzw. *Schwimmen* einen etwaigen Standortwechsel bewältigen können. Um irrelevante Prüfungen und damit längere Rechenzeiten zu vermeiden, werden Standortwechsel-Gruppen gebildet.

---

	<b>Mengen und deren Elemente</b>
$u \in U$	Menge der Standorte einer Schule
$UR_u$	Menge der Unterrichtsräume $r$ des Schulstandorts $u$
$f \in F$	Menge der Standortwechsel-Gruppen
$BF_{bf}$	Menge aller Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ und der Standortwechsel-Gruppe $f$

---

	<b>Parameter</b>
$oBUw_b$	Der Wert des Parameters $oBUw_b$ beträgt 1 ist, wenn für die Bezugsgruppe $b$ überprüft werden soll, ob eventuelle Standortwechsel in den dazwischenliegenden Pausen vorgenommen werden können.
$bBUw_b$	Jeder eingeplante Standortwechsel einer Bezugsgruppe $b$ , der nicht in der dazwischen liegenden Pause vollständig vorgenommen werden kann, verursacht $bBUw_b$ Strafpunkte.
$bUUw_{u\tilde{u}}$	Der Parameter $bUUw_{u\tilde{u}}$ beschreibt die Zeit in Minuten, die benötigt wird, um von Standort $u$ zu Standort $\tilde{u}$ zu gelangen.
$sSu_s$	Der Parameter $sSu_s$ beschreibt die Dauer der Pause in Minuten im Anschluss an Schulstunde $s$ .

$sBpL_{bl}$  Der Parameter  $sBpL_{bl}$  beschreibt die Anzahl der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe  $b$ , die zusammen mit der Lehrveranstaltung  $l$  zu einer Schulstunde stattfinden sollen.

---

**Entscheidungsvariable**

$aURw_{bzsu\tilde{u}} \in \mathbf{R}_0^+$  Die Entscheidungsvariable  $aURw_{bzsu\tilde{u}}$  beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn ein Wechsel von Standort  $u$  nach Standort  $\tilde{u}$  der Standortwechsel-Gruppe  $f$  der Bezugsgruppe  $b$  nicht innerhalb der Pause im Anschluss an die Schulstunde  $s$  bewältigt werden kann.

---

$$\sum_{l \in BF_{bf}} \sum_{r \in UR_{ur}} \frac{x_{rsl}}{sBpL_{bl}} + \sum_{r \in UR_{\tilde{u}r}} \frac{x_{r(s+1)l}}{sBpL_{bl}} - aURw_{bf su \tilde{u}} \leq 1$$

$$\begin{aligned} b &\in B, f \in F, \\ s &\in S, u \in U, \\ \tilde{u} &\in U, \\ oBUw_b &= 1, \\ bUUw_{u\tilde{u}} &> sSu_s, \\ ord(u) &\neq ord(\tilde{u}), \\ ord(s) &< card(s) \end{aligned} \quad (4.75)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBUw_b = 1}} \sum_{f \in F} \sum_{s \in S} \sum_{u \in U} \sum_{\tilde{u} \in U} aURw_{bf su \tilde{u}} \cdot bBUw_b = Z_{15} \quad (4.76)$$

Der Annahme B2-03 zufolge kann jeder Wechsel zwischen zwei Standorten in einer Schulstunde vorgenommen werden. Daher ist nur die Prüfung relevant, ob ein Standortwechsel zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lehrveranstaltungen durchgeführt werden können. Dazu muss allerdings die Dauer des Standortwechsels  $bUUw_{u\tilde{u}}$  größer sein als die Dauer der Pause  $sSu_s$ . In diesem Fall wird mit den Ungleichungen (4.75) ermittelt, ob zwei Lehrveranstaltungen  $l$  der Standortwechsel-Gruppe  $f$  der Bezugsgruppe  $b$  in den Schulstunden  $s$  und  $s+1$  und in den Unterrichtsräumen der Standorte  $u$  und  $\tilde{u}$  stattfinden. Dann wird jede Minute, die ein Wechsel länger als die betrachtete Pause dauert, mittels der Gleichung (4.76) bestraft.

#### 4.5.4.10 Die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe sollen nach einer bestimmten zeitlichen Reihenfolge eingeplant sein

Zwischen zwei Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe können Reihenfolgebeziehungen bestehen.<sup>155</sup> Nach Annahme D2-10 kann für eine Lehrveranstaltung bestimmt werden, dass diese eingehalten werden soll.<sup>156</sup>

<b>Mengen und deren Elemente</b>	
$BA_b$	Einelementige Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ am Anfang der Reihenfolgebeziehung
$BE_b$	Einelementige Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ am Ende der Reihenfolgebeziehung
<b>Parameter</b>	
$oBh_b$	Der Wert des Parameters $oBh_b$ beträgt 1, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ eine Reihenfolge einhalten sollen.
$bBh_b$	Wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ nicht in der richtigen Reihenfolge stattfinden, dann verursacht dies $bBh_b$ Strafpunkte.
<b>Entscheidungsvariable</b>	
$aBh_b \in \mathbf{R}_0^+$	Die Entscheidungsvariable $aBh_b$ beschreibt das Ausmaß der Verletzung, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ nicht in der richtigen Reihenfolge stattfinden.

$$\sum_{l \in BE_b} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} x_{rsl} \cdot ord(s) - \sum_{l \in BA_b} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} x_{rsl} \cdot ord(s) + aBh_b \geq 1 \quad b \in B, \quad oBh_b = 1 \quad (4.77)$$

$$\sum_{\substack{b \in B \\ oBh_b = 1}} aBh_b \cdot bBh_b = Z_{16} \quad (4.78)$$

Mit den Ungleichungen (4.77) wird ermittelt, ob die Lehrveranstaltung  $l$  der Menge  $BA_b$  zeitlich vor der Lehrveranstaltung  $l$  der Menge  $BE_b$  eingeplant ist. Eine Verletzung der Reihenfolgebeziehung wird mit der Gleichung (4.78) entsprechend bestraft.

<sup>155</sup> Vgl. Schimmelpfeng und Helber (2007, S. 792f).

<sup>156</sup> Eine Nebenbedingung, die nach dem gleichen Prinzip formuliert ist, wird in Abschnitt 4.3.4.12 ab Seite 100 ausführlich erläutert.



---

## Kapitel 5

# Numerische Untersuchungen von fiktiven Stundenplanproblemen an allgemeinbildenden Schulen

---

### 5.1 Aspekte der Gestaltung der Testinstanzen

#### 5.1.1 Konfiguration der Hard- und Software für die numerische Untersuchung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein umfangreiches Softwaretool entwickelt, das frei über die Adresse *C.Woellenstein@gmx.de* oder die Internetseiten des Instituts für Produktionswirtschaft der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover erhältlich ist.<sup>157</sup> Es kann grob in zwei Bereiche unterteilt werden.

Der erste Bereich umfasst sämtliche Daten der untersuchten Testinstanzen. Es ermöglicht nicht nur deren Verwaltung, Veranschaulichung und Analyse, sondern auch die Erstellung neuer bzw. eigener Stundenplanprobleme. Es ist in der Programmiersprache php 5 als Komponente für das Content Management System Joomla! 1.0.13 entwickelt worden und kann auf jedem Apache-Server 2.2.12 installiert werden, der zusätzlich MySQL 5-Datenbanken umfasst. Jedes dieser Programme ist unter einer Open-Source-Lizenz veröffentlicht worden und kann daher frei bezogen werden. Es wurde ein besonderer Wert darauf gelegt, dass das Softwaretool und die weitere benötigte Software plattformunabhängig sind. Daher können sie unter den Betriebssystemen Windows, MacIntosh, Linux oder Solaris genutzt werden.<sup>158</sup>

---

<sup>157</sup> Vgl. <http://www.prod.uni-hannover.de/>

<sup>158</sup> Ausführliche Hinweise zur Installation der jeweiligen Komponenten erhalten sie in Anhang A, S. 181ff.

Der zweite Bereich umfasst ein C++-Programm, das automatisiert den Prozess zur Lösung einer Testinstanz steuert. Zur Erstellung eines solchen Programms kann prinzipiell jeder C++-Compiler auf jeder der genannten Betriebssysteme verwendet werden, wobei im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich der Compiler G++ 4.3.3 zur Anwendung kam. Als Modellierungssprache wurde die kostenpflichtige Modellierungssprache GAMS in der Version 22.7<sup>159</sup> genutzt. Weiterhin wurde als Solver Cplex 11.0.1<sup>160</sup> implementiert.<sup>161</sup>

Sowohl die Wochen- als auch die Tagesmodelle wurden auf einem 2.13 GHz Intel Xeon E7320 mit 2 GB Hauptspeicher gelöst, auf dem das Betriebssystem Scientific Linux 5.1 installiert ist. Die Berechnungen fanden auf nur einem Prozessor statt.

In CPLEX wurde die heuristische Suchstrategie für den Pre-Solve-Prozess die Option „Dynamic Search“ konfiguriert. Weiterhin liegt der Schwerpunkt bei der Suche im Solve-Prozess bei den Wochenmodellen auf der „Optimality“, bei den Tagesmodellen hingegen auf „Balance Optimality and Feasibility“.

Eine Konfiguration in GAMS sah vor, dass sämtliche fixierten Entscheidungsvariablen als Parameter abgebildet und mit Hilfe der GAMS-Option „hold-fixed“ aus der Lösungsmenge entfernt werden.

### 5.1.2 Gestaltung der Größe der fiktiven Schulen

In Kapitel 5 wird eine numerische Untersuchung von Stundenplanproblemen von fiktiven Schulen vorgenommen. Diese werden auf Basis von realen rechtlichen oder statistischen Vorgaben gebildet. Dazu stehen vielfältige Quellen zur Verfügung. So veröffentlicht das Statistische Bundesamt in jedem Jahr umfangreiche Statistiken zu zahlreichen Aspekten des deutschen Bildungswesens. Diese ermöglichen es unter anderem, einen sehr guten Überblick über die Größe einzelner Schultypen zu erlangen, wie die Tabellen 5.1 und 5.2 verdeutlichen.<sup>162</sup> Daraus können Eckdaten für die Dimensionierung der fiktiven Schulen der Testinstanzen abgeleitet werden.

**Tabelle 5.1:** Schüler und Schulklassen in Grund-, Haupt- und Realschulen im Schuljahr 2007/2008 in Deutschland

	Grundschule	Hauptschule	Realschule
Schulen	16.649	4.587	2.775
Schüler	3.082.499	889.132	1.278.092
Schulklassen	140.679	43.226	47.590

<sup>159</sup>Vgl. McCarl (2008).

<sup>160</sup>Vgl. Suhl und Mellouli (2006, S. 78).

<sup>161</sup>Vgl. Abschnitt 3.5, S. 62ff.

<sup>162</sup>Vgl. Statistisches Bundesamt (2008, S. 27 und 38).

Fortsetzung der Tabelle „Schüler und Schulklassen in Grund-, Haupt- und Realschulen im Schuljahr 2007/2008 in Deutschland“

	Grundschule	Hauptschule	Realschule
Schüler pro Schule	185,2	193,8	460,5
Schüler pro Schulklasse	21,9	20,5	26,8

**Tabelle 5.2:** Schüler, Schulklassen und Jahrgangsstufen in Gymnasien im Schuljahr 2007/2008 in Deutschland

	Gymnasium Sek. I	Gymnasium Sek. II
Schulen	3.078	
Schüler	1.698.569	767.472
Schulklassen in Sek. I	62.341	-
Schüler pro Sekundarstufe	551,8	249,3
Schüler pro Schulklasse in Sek. I	27,2	-

**Legende:**  
**Sek.** Sekundarstufe

Es ist anzumerken, dass die Statistiken in den Tabellen 5.1 und 5.2 undifferenziert sind, da die unterschiedlichen Ausprägungen der Schultypen in den jeweiligen Ländern nicht gesondert betrachtet werden. So dauert bspw. die Grundschule in Berlin sechs Jahre, wodurch sich die Jahre auf den weiterführenden Schulen entsprechend verkürzen.

Trotzdem können wertvolle Informationen zur Gestaltung der Größe der fiktiven Schulen abgeleitet werden. So sind Grund- und Hauptschulen mit weniger als 200 Schülern pro Schule deutlich kleiner als Realschulen und Gymnasien, die im Schnitt mehr als doppelt bzw. viermal so viele Schüler unterrichten.

Die Anzahl der Schüler pro Schulklasse zeigt ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den Schultypen auf. So werden in den Realschulen und der Sekundarstufe I der Gymnasien im Schnitt bis zu sieben Schüler mehr in einer Schulklasse unterrichtet als in den Grund- und Hauptschulen.

Aus diesen Statistiken können nun folgende Überlegungen abgeleitet werden. Wenn in jeder Schulklasse 25 Schüler unterrichtet werden und jede Jahrgangsstufe vier Schulklassen umfasst, dann werden in jeder Jahrgangsstufe 100 Schüler unterrichtet. Wenn an der Schule sechs Jahrgangsstufen existieren, dann werden insgesamt 600 Schüler unterrichtet. Eine solche Schule wäre damit größer als jede durchschnittliche Grund-, Haupt-, Realschule und Sekundarstufe

I eines Gymnasiums. Wenn allerdings anstatt vier nun sechs Schulklassen pro Jahrgangsstufe unterrichtet werden, dann steigt die Anzahl der Schüler einer solchen Schule auf insgesamt 900.

Es existieren nach dem Kenntnisstand des Autors keine Statistiken, in denen die Anzahl von Schülern und Schulklassen besonders großer Schulen erfasst sind. Doch angesichts der Durchschnittswerte kann davon ausgegangen werden, dass nur wenige Grund-, Haupt-, Realschulen und Sekundarstufen I eines Gymnasiums von mehr als 900 Schülern besucht werden. Eine solche fiktive Schule kann demnach als überdurchschnittlich groß bezeichnet werden.

Diese Überlegungen bilden die Grundlage zur Bildung zweier Instanzengruppen. Die fiktiven Schulen der ersten Instanzengruppe umfassen jeweils sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen. Eine fiktive Schule der zweiten Instanzengruppe setzt sich aus sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen zusammen.

Obwohl dem Autor keine offiziellen Statistiken bekannt sind, wie viele Schulen auf zwei oder mehr Standorte verteilt sind, wird dieser Aspekt durch die dritte Instanzengruppe aufgegriffen. Die fiktiven Schulen der Testinstanzen umfassen jeweils sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen. Deren Unterrichtsräume sind allerdings zwei verschiedenen Standorten zugeordnet.

Die Schüler sind in der gymnasialen Oberstufe nicht in Schulklassen, sondern in Kursen organisiert. Dementsprechend sind für die Sekundarstufe II weitere Überlegungen anzustellen.

Ein Gymnasium bietet den Schülern einer Jahrgangsstufe in der Oberstufe mehrere Fachfelder an. Diese umfassen jeweils mehrere Kurse, aus denen die Schüler einen auszuwählen haben. Wenn jede Jahrgangsstufe einer fiktiven Schule 100 Schüler umfasst, dann müssen diese auf die Kurse eines Fachfelds verteilt werden. Falls pro Kurs eines Fachfelds genau 25 Schüler eingeteilt werden sollen, dann sind demnach vier Kurse pro Fachfeld anzubieten. Im Rahmen einer dreijährigen Sekundarstufe II werden demnach insgesamt 300 Schüler unterrichtet. Damit ist die Oberstufe der fiktiven Schulen etwas größer als die reale durchschnittliche Sekundarstufe II der Gymnasien, die nur knapp 250 Schüler umfasst.

In Zukunft soll in allen Gymnasien Deutschlands das Abitur nach bereits zwölf Jahren abgelegt, wodurch die Dauer der Sekundarstufe I auf fünf Jahre verkürzt wird. Die fiktiven Schulen der vierten Instanzengruppe setzen sich daher aus fünf Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen und einer Oberstufe zusammen.

In Tabelle 5.3 werden die in dieser Arbeit betrachteten Instanzengruppen dargestellt. Für jede der vier Instanzengruppen wurden je zehn Testinstanzen erzeugt, die in Abschnitt 5.2 untersucht werden.

**Tabelle 5.3:** Übersicht über die in dieser Arbeit untersuchten Instanzengruppen

Name	Abk.	Anz. JGS	Anz. SK pro JGS	Anz. Stand.	Sek. II
Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen	6x4	6	4	1	nein
Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen	6x6	6	6	1	nein
Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, zwei Schulstandorte	2SO	6	4	2	nein
Fünf Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, Oberstufe	OBS	5	4	1	ja

**Legende:**

<b>Abk.</b>	Abkürzung
<b>SK</b>	Schulklassen
<b>JGS</b>	Jahrgangsstufe
<b>Anz.</b>	Anzahl
<b>Stand.</b>	Schulstandorte
<b>Sek.</b>	Sekundarstufe

In den folgenden Abschnitten wird dargestellt, wie das Problem der Unterrichtsstundenverteilung gelöst wird und wie die Parameter und Mengen der Modelle gestaltet sind. Es soll dadurch verdeutlicht werden, dass die zugrunde liegenden Stundenplanprobleme der fiktiven Schulen als realistisch angesehen werden können.

Aufgrund der umfangreichen Daten, die jede Testinstanz umfasst, wird in den folgenden Abschnitten nachvollziehbar erläutert, nach welchen Prinzipien diese erzeugt wurden. Im Anhang B werden schließlich die Daten einer Testinstanz exemplarisch dargestellt. Jede Testinstanz kann elektronisch jederzeit abgerufen und in anderen Systeme übertragen werden.<sup>163</sup>

### 5.1.3 Gestaltung der Unterrichtsstundenverteilung

Das Gesamtproblem der Erstellung eines Stundenplans an allgemeinbildenden Schulen wird im Rahmen dieser Arbeit in zwei sequentiell zu lösende Teilprob-

<sup>163</sup> Vgl. Anhang A, S. 181, und Anhang B, S. 185.

leme zerlegt. In diesem Abschnitt wird erläutert, wie die Unterrichtsstundenverteilung bei der Erzeugung der Testinstanzen vorgenommen wird.

Für jeden Schultyp wird in jedem Bundesland durch eine Stundentafel festgelegt, welche Lehrveranstaltungen in welchen Jahrgangsstufen in welchem Umfang zu abzuhalten sind. Angesichts der Vielzahl an Bundesländern und Schultypen existiert eine enorme Vielfalt an Stundentafeln. Die Stundentafel der fiktiven Schulen orientiert sich an realen rechtlichen Vorgaben. Als Vorbild für die Jahrgangsstufen, in denen die Schüler in Schulklassen organisiert sind, dient die Stundentafel für die Sekundarstufe I für Gymnasien in NRW.<sup>164</sup>

**Tabelle 5.4:** *Stundentafel der Sekundarstufe I für Gymnasien in NRW*

<b>Jahrgangsstufe</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>Gesamt</b>
Wochenstundenrahmen	27-29	28-30	29-31	29-31	30-32	30-32	179
Deutsch	4-5	4-5	4-5	4-5	3-4	3-4	22-24
Gesellschaftslehre (Geschichte, Erdkunde, Politik)	2-3	4-5	4-5	4-5	3-5	4-5	22-24
Mathematik	4-5	4-5	4-5	3-4	3-4	3-4	21-23
Naturwissenschaften (Biologie, Physik, Chemie)	2-3	4-5	2-3	4-5	5-6	4-5	22-24
Fremdsprachen	5-6	4-6	8-10	7-9	6-8	6-8	36-40
Künstlerische Gestaltung (Kunst, Musik)	4-5	3-5	2-4	2-3	2-3	2-3	17-19
Religion	2	2	2	2	2	2	12
Sport	2-4	2-4	2-4	2-4	2-4	2-4	17-19

Der Wochenstundenrahmen, der in Tabelle 5.4 dargestellten Stundentafel, gibt vor, wie viele Unterrichtsstunden für eine Schulklasse maximal bzw. minimal vorgesehen sind. Im Verlauf der Sekundarstufe I müssen aber genau 179 Unterrichtsstunden in den verschiedenen Lehrveranstaltungen angeboten worden sein. Für jede Lehrveranstaltung sind jahrgangsstufenabhängige Ober- und Untergrenzen der anzubietenden Unterrichtsstunden festgelegt. Deshalb werden nicht alle Lehrveranstaltungen der Fachfelder „Gesellschaftslehre“, „Naturwissenschaften“ und „Künstlerische Gestaltung“ in jeder Jahrgangsstufe angeboten. Eine Schule verfügt über bestimmte Gestaltungsfreiheiten, das bedeutet, dass sie entscheidet, in welcher Jahrgangsstufe in welchem Umfang diese zu unter-

<sup>164</sup> Vgl. Schulministerium NRW (2008b, Anlage 1).

richten sind.

Die Stundentafeln können also generell innerhalb eines gewissen Rahmens auf die Charakteristika einer Schule angepasst werden. Falls bspw. nur wenige Sporthallen zur Verfügung stehen, dann kann dies zur Folge haben, dass nur das Minimum an Sportunterricht angeboten wird. Dies verdeutlicht wieder den starken individuellen Charakter von Stundenplanproblemen an allgemeinbildenden Schulen.

Aus der realen Stundentafel der Sekundarstufe I für Gymnasien in NRW wird eine vereinfachte für die fiktiven Schulen der Testinstanzen abgeleitet.

**Tabelle 5.5:** Stundentafel für die Sekundarstufe I der fiktiven Schulen

Jahrgangsstufe	5	6	7	8	9	10	Gesamt
Wochenstundenrahmen	31	31	31	31	31	31	186
Deutsch	3	3	3	3	3	3	18
Gesellschaftslehre (Sozialwissenschaften, Erdkunde)	4	4	4	4	4	4	24
Mathematik	3	3	3	3	3	3	18
Naturwissenschaften (BioChemie, Physik, Informatik)	6	6	6	6	6	6	36
Fremdsprachen (Englisch, Französisch, Latein)	6	6	6	6	6	6	36
Künstlerische Gestaltung (Kunst, Musik)	4	4	4	4	4	4	24
Religion (Evangelisch, Katholisch)	2	2	2	2	2	2	12
Sport (Jungen, Mädchen)	3	3	3	3	3	3	18

In jeder Jahrgangsstufe der Sekundarstufe I gilt in jeder Schulklasse die gleiche Stundentafel. Jede Schulklasse hat demnach 31 Unterrichtsstunden pro Jahrgangsstufe und 186 insgesamt zu absolvieren. Es wird darauf verzichtet zu modellieren, dass in niedrigeren Jahrgangsstufen weniger Lehrveranstaltungen unterrichtet werden, als in höheren. Dadurch soll die Stundenplanerstellung schwieriger gestaltet werden, weil insgesamt mehr Unterrichtsstunden einzuplanen sind.

Die Lehrveranstaltungen in **Geschichte** und **Erdkunde** werden ebenso zu einer zusammengefasst, wie die in **Biologie** und **Chemie**. Diese werden als **Sozialwissenschaften** bzw. **BioChemie** bezeichnet. Dafür wird das Fachfeld

„Naturwissenschaften“ um die Lehrveranstaltung **Informatik** ergänzt.

Für die Schüler bestehen mehrere Wahlmöglichkeiten. So ist zwar für alle die Lehrveranstaltung in **Englisch** verpflichtend, aber sie müssen sich zwischen **Latein** und **Französisch** als zweite Fremdsprache entscheiden. Weiterhin werden die Schüler in einen konfessionsgebundenen Religions- und einen geschlechts-spezifischen Sportunterricht eingeteilt. Es werden bspw. die Katholiken der 5a und der 5b in einer gemeinsamen Lehrveranstaltung unterrichtet, ebenso wie die Protestanten beider Schulklassen. Für diese Kurse gilt allgemein, dass die Klassenverbände von zwei Parallelklassen geteilt und mit dem entsprechenden anderen Teil eines anderen Klassenverbandes gekoppelt werden.

Die Kurse umfassen, wie jede andere Lehrveranstaltung auch, mehrere Unterrichtsstunden. Die jeweilige Anzahl für jede Lehrveranstaltung kann Tabelle 5.6 entnommen werden.

**Tabelle 5.6:** Umfang der Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen einer Schulklasse an einer fiktiven Schule

<b>Lehrveranstaltung</b>	<b>2 Stunden</b>	<b>3 Stunden</b>
Deutsch	-	<b>X</b>
Sozialwissenschaften	<b>X</b>	-
Erdkunde	<b>X</b>	-
Mathematik	-	<b>X</b>
BioChemie	<b>X</b>	-
Physik	<b>X</b>	-
Informatik	<b>X</b>	-
Englisch	-	<b>X</b>
Französisch	-	<b>X</b>
Latein	-	<b>X</b>
Kunst	<b>X</b>	-
Musik	<b>X</b>	-
Religion (Evangelisch)	<b>X</b>	-
Religion (Katholisch)	<b>X</b>	-
Sport (Jungen)	-	<b>X</b>
Sport (Mädchen)	-	<b>X</b>

Für das Bundesland NRW existieren auch Studententafeln für die Sekundarstufe II. Doch das Prinzip, nach dem diese gebildet werden, kann nicht so einfach und anschaulich anhand einer Tabelle dargestellt werden. Dies ist der enormen

Gestaltungsfreiheit geschuldet, die den Schulen in der Organisation der Oberstufe gegeben wird.<sup>165</sup>

Aus diesem Grund wird im Folgenden nur die Stundentafel der Sekundarstufe II erläutert, die den fiktiven Schulen mit Oberstufe zugrunde liegen. Sie basiert auf den realen rechtlichen Vorgaben des Bundeslandes NRW.

Unterschieden wird dabei zwischen der Stundentafel für die erste Jahrgangsstufe, der sogenannten Einführungsphase, und der der letzten beiden. Diese werden als Qualifikationsphase bezeichnet.

Ein Schüler der Einführungsphase muss aus jedem Fachfeld genau einen Grundkurs wählen. In einem Grundkurs werden die grundlegenden Sachverhalte und Problemkomplexe eines Fachs eingeführt. Der Schüler darf nicht mehrere Grundkurse des gleichen Unterrichtsfachs belegen. Der Schüler hat demnach 30 Unterrichtsstunden zu absolvieren, was auch der §8 der Ausbildungs- und Prüfungsordnung für die gymnasiale Oberstufe des Bundeslandes NRW vorschreibt.<sup>166</sup> Dies wird in Tabelle 5.7 veranschaulicht.

**Tabelle 5.7:** Stundentafel der Einführungsphase der Sekundarstufe II für fiktive Schulen

Fachfelder	Stufe 1
Deutsch (Deutsch GK I, Deutsch GK II, Deutsch GK III, Deutsch GK IV)	3
Englisch (Englisch GK I, Englisch GK II, Englisch GK III, Englisch GK IV)	3
Mathematik (Mathematik GK I, Mathematik GK II, Mathematik GK III, Mathematik GK IV)	3
Zweite Fremdsprache (Französisch GK I, Französisch GK II, Latein GK I, Latein GK II)	3
Naturwissenschaften (BioChemie GK I, Informatik GK I, Physik GK I)	3
Künstlerische Gestaltung (Kunst GK I, Kunst GK II, Musik GK I, Musik GK II)	3
Religion (Religion (Evangelisch) GK I, Religion (Evangelisch) GK II, Religion (Katholisch) GK I, Religion (Katholisch) GK II)	3
Gesellschaftswissenschaften (Erdkunde GK I, Erdkunde GK II, Sozialwissenschaften GK I, Sozialwissenschaften GK II)	3
Sport (Sport GK I, Sport GK II, Sport GK III, Sport GK IV)	3

<sup>165</sup> Vgl. Schulministerium NRW (2008c, §§6-12).

<sup>166</sup> Vgl. Schulministerium NRW (2008c, §8).

Fortsetzung der Tabelle „Studentafel der Einführungsphase der Sekundarstufe II für fiktive Schulen“

Fachfelder	Stufe 1
Wahlfach (Biologie GK II, Erdkunde GK III, Sozialwissenschaften GK III, Physik GK II, Informatik GK II)	3
<b>Legende:</b>	
<b>GK</b>	Grundkurs

Für die Schüler der Qualifikationsphase gelten ähnliche Regeln wie in der Einführungsphase. Die Schüler müssen nun allerdings zusätzlich zu den Grundkursen Leistungskurse belegen, in denen das jeweilige Fach vertieft vermittelt wird. Die Studentafel, die für sie maßgeblich ist, wird in Tabelle 5.8 beschrieben.

**Tabelle 5.8:** Studentafel der Qualifikationsphase der Sekundarstufe II für fiktive Schulen

Fachfelder	Stufe 2	Stufe 3
Leistungskurse I (Deutsch LK I, Englisch LK I, Mathematik LK I, Sozialwissenschaften LK I)	5	5
Leistungskurse II (Deutsch LK II, Englisch LK II, Mathematik LK II, Sport LK I)	5	5
Wahlfach I (Deutsch GK I, Englisch GK I, Mathematik GK I, Sport GK I)	3	3
Wahlfach II (Deutsch GK II, Englisch GK II, Mathematik GK II, Sport GK II)	3	3
Wahlfach III (BioChemie GK I, Informatik GK I, Physik GK I, Sozialwissenschaften GK I)	3	3
Wahlfach IV (BioChemie GK II, Erdkunde GK I, Informatik GK II, Physik GK II)	3	3
Wahlfach V (Erdkunde GK II, Religion (Evangelisch) GK I, Religion (Katholisch) GK I, Sozialwissenschaften GK II)	3	3
Wahlfach VI (Kunst GK I, Religion (Evangelisch) GK II, Religion (Katholisch) GK II, Sport GK III)	3	3
Wahlfach VII (Französisch GK I, Französisch GK II, Latein GK I, Musik GK I)	3	3
<b>Legende:</b>		
<b>GK</b>	Grundkurs	

Fortsetzung der Tabelle „Stundentafel der Qualifikationsphase der Sekundarstufe II für fiktive Schulen“

---

LK	Leistungskurs
----	---------------

---

Jeder Schüler nimmt in jeder Jahrgangsstufe der Qualifikationsphase an insgesamt 31 Unterrichtsstunden teil. Dadurch werden die Vorgaben des §11 der der Ausbildungs- und Prüfungsordnung für die gymnasiale Oberstufe des Bundeslandes NRW erfüllt.<sup>167</sup>

Weiterhin gilt es, die Verteilung der Unterrichtsstunden auf die Lehrer vorzunehmen. Allerdings gibt es hierzu keine expliziten rechtlichen Vorgaben. Vielmehr sind die unterschiedlichen Beschäftigungsverhältnisse zu berücksichtigen. In Deutschland verfügen 51% der Lehrer über eine volle Stelle, 48% über eine halbe. 1% von ihnen sind stundenweise angestellt.<sup>168</sup> Aufgrund des Föderalismus gibt es keine allgemein gültigen Grenzen an Unterrichtsstunden, anhand derer zum Beispiel zwischen Vollzeit- und Teilzeitkräften unterschieden werden kann. Für die fiktiven Schulen der Testinstanzen sind daher alle Lehrer Vollzeitkräfte, die zwischen 21 und 28 Unterrichtsstunden zu lehren haben. Lehrer mit einem Teilzeitbeschäftigungsverhältnis unterrichten nicht weniger als zehn und nicht mehr als 20 Stunden in der Unterrichtswoche. Stundenweise angestellte Lehrer geben nicht mehr als neun Unterrichtsstunden pro Unterrichtswoche.

Im Regelfall ist nicht jeder Lehrer aufgrund seines Hochschulstudiums dazu befähigt, jedes Unterrichtsfach zu lehren. Aus diesem Grund unterrichten die Lehrer der fiktiven Schule nie mehr als drei verschiedene Unterrichtsfächer.

Für einen Lehrer sollen nur Lehrveranstaltungen ausgewählt werden, die nicht gleichzeitig stattfinden sollen. Wenn also zum Beispiel die Lehrveranstaltungen in Latein und Französisch einer Schulklasse einem Zeitraum zugeordnet werden sollen, dann darf der Lehrer nur eine von beiden unterrichten.

Unter Berücksichtigungen dieser Regeln werden die Lehrveranstaltungen zufällig auf die Lehrer verteilt. Die zugrunde liegende Wahrscheinlichkeitsverteilung ist die Gleichverteilung.

Die Unterrichtsstundenverteilung für die Lehrer zur Erzeugung von Ausgangsdaten für die Testinstanzen soll anhand von Algorithmus 5.1 zusammenfassend veranschaulicht werden.

---

<sup>167</sup> Vgl. Schulministerium NRW (2008c, §11).

<sup>168</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (2008, S. 306ff).

---

**solange nicht alle Unterrichtsstunden den Lehrern zugeordnet sind:**

Aus der Menge der Lehrveranstaltungen werden mehrere unter Berücksichtigung der folgenden Bedingungen zufällig ausgewählt:

*Sie dürfen nicht zu mehr als drei unterschiedlichen Unterrichtsfächern gehören.*

*Für sie darf nicht vorgesehen sein, dass sie gleichzeitig stattfinden sollen.*

*Ihnen darf nicht bereits ein anderer Lehrer zugeordnet sein.*

*Wenn weniger als 51% der Unterrichtsstunden den Lehrern zugeordnet sind, dann darf die Gesamtzahl der Unterrichtsstunden 28 nicht über- und 21 nicht unterschreiten.*

*Wenn mehr als 51% und weniger als 99% der Unterrichtsstunden den Lehrern zugeordnet sind, dann darf die Gesamtzahl der Unterrichtsstunden 20 nicht über- und 10 nicht unterschreiten.*

*Wenn mehr als 99% und weniger als 100% der Unterrichtsstunden den Lehrern zugeordnet sind, dann darf die Gesamtzahl der Unterrichtsstunden 10 nicht über- und 1 nicht unterschreiten.*

Ordne die ausgewählten Lehrveranstaltungen einem Lehrer zu, dem bisher noch keine Lehrveranstaltungen zugeordnet wurden.

---

Alg. 5.1: Verteilung der Lehrveranstaltungen auf die Lehrer

---

#### 5.1.4 Gestaltung der mehrdimensionalen Gewichte der Nebenbedingungen

Alle Nebenbedingungen der Wochen- und Tagesmodelle sind bis auf eine Ausnahme weich formuliert.<sup>169</sup> Die jeweiligen Gewichtungparameter, die im Folgenden als Strafpunkte bezeichnet werden, sind mehrdimensional gestaltet, um individuellen Anforderungen von Unterrichtsräumen, Lehrveranstaltungen oder Bezugsgruppen an deren Einplanung gerecht zu werden. Die Anforderungen, die dem Autor als wichtig erscheinen, verursachen hohe Strafpunkte, wenn diese nicht erfüllt werden. Dementsprechend werden als eher unwichtig angesehene mit niedrigeren Strafpunkten bewertet. Dazu werden ausschließlich die Werte für die jeweiligen Gewichtungparameter verwendet, die in Tabelle 5.9 aufgelistet sind.

Prinzipiell kann die Anzahl der Gewichtungparameter unbeschränkt sein. Im Rahmen dieser Arbeit werden allerdings nur 16 modelliert, um leichter den Überblick bewahren zu können.

---

<sup>169</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.6.2, S. 46ff.

**Tabelle 5.9:** Skala der Strafpunkte

Rang	Strafpunkte
1	10.000.000
2	100.000
3	3.050
4	1.885
5	1.165
6	720
7	445
8	275
9	170
10	105
11	65
12	40
13	25
14	15
15	10
16	5

### 5.1.5 Gestaltung der Mengen und Parameter der Zeit

Die zeitlichen Aspekte der fiktiven Stundenplanprobleme sollen realistisch modelliert sein. Allerdings verfügen die Schulen bezüglich der Gestaltung der Unterrichtstage und Schulstunden über weitreichende Freiheiten. Die Kultusministerien der Bundesländer geben zum Beispiel nicht vor, wie lange eine Unterrichtswoche oder eine Schulstunde dauern soll. Sie entwickeln nur die Stundentafeln, die für jedes Unterrichtsfach eine Ober- und eine Untergrenze der anzubietenden Unterrichtsstunden vorgeben.<sup>170</sup> Solange eine Schule den Unterricht im geforderten Umfang anbietet, können die Schulen die Dauer der Schulstunden bzw. Unterrichtswoche individuell gestalten.

Die Mengen und Parameter bezüglich der Zeit werden daher so gestaltet, wie sie dem Autor an allgemeinbildenden Schulen in Deutschland üblich erscheinen. So umfasst in jeder Testinstanz die Menge  $t$  der Unterrichtstage die Elemente „Montag“, „Dienstag“, „Mittwoch“, „Donnerstag“ und „Freitag“.

Jeder Unterrichtstag wird in zehn Schulstunden unterteilt. Diese werden entweder den Zeitfenstern „Vormittag“ oder „Nachmittag“ zugeordnet, wie Tabelle 5.10 entnommen werden kann.

<sup>170</sup> Vgl. Schulministerium NRW (2008a).

**Tabelle 5.10:** Übersicht über die Schulstunden eines Unterrichtstags

$s$	$CS_c$
Schulstunde 1	Vormittag
Schulstunde 2	Vormittag
Schulstunde 3	Vormittag
Schulstunde 4	Vormittag
Schulstunde 5	Vormittag
Schulstunde 6	Vormittag
Schulstunde 7	Vormittag
Schulstunde 8	Nachmittag
Schulstunde 9	Nachmittag
Schulstunde 10	Nachmittag

**Legende:**

$s$  Menge der Schulstunden

$CS_c$  Menge der Schulstunden  $s$  des Zeitfensters  $c$

Zwischen den zehn Schulstunden eines Unterrichtstags werden insgesamt neun Pausen eingelegt. Sämtliche Aspekte zu deren Modellierung werden in Tabelle 5.11 dargestellt.

**Tabelle 5.11:** Übersicht über die Pausen eines Unterrichtstags

Bezeichnung	$sSu_s$	$sSlu_s$
Pause 1	5	0
Pause 2	15	1
Pause 3	5	0
Pause 4	15	1
Pause 5	5	0
Pause 6	15	1
Pause 7	5	0
Pause 8	15	1
Pause 9	5	0

**Legende:**

$sSu_s$  Dauer der Pause in Anschluss an Schulstunde  $s$  in Minuten

$sSlu_s$  Der Wert des Parameters  $sSlu_s$  beträgt 1, wenn auf eine Schulstunde  $s$  eine lange Pause folgt, 0 sonst

### 5.1.6 Gestaltung der Mengen und Parameter der Raumtypen und Unterrichtsräume

Jede Schule verfügt über Unterrichtsräume, in denen der Unterricht stattfinden soll. Viele sind speziell auf die Bedürfnisse bestimmter Unterrichtsfächer abgestimmt wie bspw. Sporthallen oder Physik-Räume. Daneben existieren normale Unterrichtsräume ohne spezielle Ausstattungsmerkmale, in denen unterschiedliche Unterrichtsfächer wie bspw. **Deutsch**, **Mathematik** oder **Latein** stattfinden können.<sup>171</sup> Die Gebäude allgemeinbildender Schulen umfassen demnach in der Regel verschiedene Raumtypen unterschiedlichster Ausprägungen.

An den fiktiven Schulen der untersuchten Testinstanzen sind folgende Raumtypen modelliert.

- **Normaler Raum**

Normale Unterrichtsräume verfügen über keine speziellen Ausstattungsmerkmale und sind daher für den Unterricht verschiedener Unterrichtsfächer geeignet.

- **Physik-Raum**

Diese Unterrichtsräume sind speziell für den Physik-Unterricht ausgestattet, damit bspw. Experimente leichter durchgeführt werden können.

- **BioChemie-Raum**

Die Unterrichtsräume dieses Raumtyps sind auf die Bedürfnisse des BioChemieunterrichts angepasst. So gibt es dort bspw. spezielle Schränke, um Chemikalien sicher zu lagern.

- **PC-Pool**

Dieser Raumtyp ist aufgrund der dort stehenden PCs besonders für den Informatik-Unterricht geeignet.

- **Kunst-Raum**

Jeder Kunstraum verfügt bspw. über große Tische, an denen die Schüler ihre Zeichnungen anfertigen können.

- **Musik-Raum**

Diese Unterrichtsräume sind für den Musik-Unterricht mit Instrumenten wie zum Beispiel einem Klavier ausgestattet.

- **Sporthalle**

Die Sporthalle bietet ausreichend Platz, um dort die Schüler in verschiedenen Sportarten wie Handball oder Badminton zu unterrichten.

---

<sup>171</sup> Vgl. Abschnitt 3.3.3, S. 19.

Bis auf die Sporthallen ist keiner der Unterrichtsräume teilbar.<sup>172</sup> Diese lassen sich durch einen Vorhang in zwei Sporthallen aufteilen, in denen unabhängig voneinander zwei Unterrichtsstunden stattfinden können.

Meinen Recherchen nach gibt es keine statistischen Erhebungen, über wie viele Unterrichtsräume und Raumtypen eine durchschnittliche allgemeinbildende Schule verfügt. Daher ist es sinnvoll, sich dieser Fragestellung argumentativ zu nähern, um eine fiktive Schule mit einer realistischen Anzahl an Unterrichtsräumen auszustatten.

Es gibt zwei unterschiedliche Prinzipien, nach denen die Unterrichtsräume einer Schule organisiert werden.<sup>173</sup>

- Beim *Klassenraumprinzip* wird einer Schulklasse ein fester Klassenraum zugeordnet. In ihm finden im Idealfall alle Lehrveranstaltungen der Schulklasse statt. Davon ausgenommen sind die Lehrveranstaltungen wie *Physik* oder *Sport*, für deren Erteilung ein Unterrichtsraum spezielle Ausstattungsmerkmale aufweisen muss.
- Beim *Lehrerraumprinzip* verfügt jeder Lehrer über einen eigenen Unterrichtsraum. Die Schüler müssen zwischen den jeweiligen Unterrichtsräumen wechseln.

Dem Autor ist nicht bekannt, dass in Deutschland vorgeschrieben ist, nach welchem Prinzip die Unterrichtsräume zu organisieren sind. Es gibt Schulen, die das Lehrerraumprinzip anwenden, wie die Studie von Neugebauer (2007) zeigt. Allerdings sind der Einschätzung des Autors nach die Unterrichtsräume an deutlich mehr allgemeinbildenden Schulen dem Klassenraumprinzip folgend organisiert. Deshalb wird dieses Prinzip auch auf die fiktiven Schulen übertragen.

Für diese kann nun die Anzahl der normalen Unterrichtsräume bestimmt werden. An den fiktiven Schulen ohne Oberstufe entsprechen sie genau der Anzahl der Schulklassen.

Für die drei Jahrgangsstufen der Sekundarstufe II werden weitere normale Unterrichtsräume benötigt. In jeder der Jahrgangsstufen finden vier Kurse gleichzeitig statt, auf die die Schüler verteilt werden. Daraus folgt, dass insgesamt zwölf weitere normale Unterrichtsräume modelliert werden.

Aus dem Klassenraumprinzip lässt sich allerdings nicht ableiten, wie viele Unterrichtsräume mit speziellen Ausstattungsmerkmalen benötigt werden. Dazu sind weitere theoretische Überlegungen notwendig.

Unterrichtsstunden, die am Nachmittag stattfinden, sind im Regelfall sowohl bei Lehrern als auch bei Schülern nicht erwünscht. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass alle Unterrichtsstunden im Laufe des Vormittags stattfinden sollten.

---

<sup>172</sup>Vgl. Abschnitt 3.3.3, S. 19.

<sup>173</sup>Vgl. Neugebauer (2007, S. 3)

Bei den fiktiven Schulen sind dies die ersten sieben Schulstunden eines jeden Unterrichtstags.<sup>174</sup> Jede Unterrichtswoche umfasst insgesamt fünf Unterrichtstage. Daraus folgt, dass alle Unterrichtsstunden der Schule im Idealfall an diesen 35 Zeiträumen eingeplant sind.

Wenn allerdings an einer Schule nur ein unteilbarer Physikraum existiert, aber insgesamt 48 Unterrichtsstunden in Physik angeboten werden, dann können diese nicht alle an den Vormittagen der Unterrichtswoche stattfinden. Um also unerwünschten Unterricht am Nachmittag zu vermeiden, muss mindestens ein zweiter Physikraum errichtet werden.

Für jeden Raumtyp mit speziellen Ausstattungsmerkmalen wird die Anzahl der Unterrichtsräume nach Gleichung (5.1) berechnet.

**Tabelle 5.12:** Parameter zur Berechnung der Anzahl der Spezialräume einer fiktiven Schule

	<b>Parameter</b>
$anzUS$	Der Parameter beschreibt die Anzahl der Unterrichtsstunden, die in einem Raumtyp mit speziellen Ausstattungsmerkmalen stattfinden sollen.
$anzVM$	Der Parameter beschreibt die Anzahl der Schulstunden der Unterrichtswoche, die dem Zeitfenster des Vormittags zugeordnet sind.
$anzRM$	Der Parameter beschreibt die Anzahl der Unterrichtsräume eines Raumtyps mit speziellen Ausstattungsmerkmalen.

$$\left\lceil \frac{anzUS}{anzVM} \right\rceil = anzRM \quad (5.1)$$

Aus diesen Überlegungen kann die Anzahl der Unterrichtsräume für jede fiktive Schule abgeleitet werden. Diese wird in Abhängigkeit von der jeweiligen Instanzengruppe und dem jeweiligen Raumtyp in Tabelle 5.13 dargestellt.

**Tabelle 5.13:** Anzahl der Unterrichtsräume in Abhängigkeit vom Raumtyp und von der Instanzengruppe

$y$	<b>6x4</b>	<b>6x6</b>	<b>2SO</b>	<b>OBS</b>
BioChemie	2	3	2	3
Kunst	2	3	2	3
Musik	2	3	2	3

<sup>174</sup> Vgl. Abschnitt 5.1.5.

Fortsetzung der Tabelle „Anzahl der Unterrichtsräume in Abhängigkeit vom Raumtyp und von der Instanzengruppe“

$y$	<b>6x4</b>	<b>6x6</b>	<b>2SO</b>	<b>OBS</b>
Normal	24	36	24	32
PC-Pool	2	3	2	3
Physik	2	3	2	3
Sport	3	4	3	5

**Legende:**

$y$	Menge der Raumtypen
<b>6x4</b>	Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen“
<b>6x6</b>	Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“
<b>2SO</b>	Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, zwei Schulstandorte“
<b>OBS</b>	Instanzengruppe „Fünf Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, Oberstufe“

Für die Unterrichtsräume bzw. Raumtypen werden die jeweiligen Parameter wie folgt gestaltet.

- Die jeweilige Anzahl der Unterrichtsräume eines Raumtyps kann der Tabelle 5.13 entnommen werden. Die Kapazität eines jeden Unterrichtsraums beträgt zu jedem Zeitraum 100%. Dementsprechend kann die Kapazität der Raumtypen leicht berechnet werden. So bietet bspw. des in den Testinstanzen der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen“ modellierten Raumtyps „PC-Pool“ zu jedem Zeitraum 200%. Die Parameter  $kYTS_{yts}$  und  $kRS_{rs}$ , die die Kapazität eines Raumtyps bzw. Unterrichtsraums beschreiben, werden entsprechend gestaltet. Basierend auf der Annahme B1-02 wird für jeden Raumtyp festgelegt werden, dass zu keiner Zeit dessen Kapazität überschritten werden soll.<sup>175</sup> Analog gilt dies nach Annahme B2-02 auch für jeden Unterrichtsraum.<sup>176</sup> Jede Überschreitung der Kapazitätsgrenze verursacht 10.000.000 Strafpunkte, was mit den Parameter  $bY_y$  bzw.  $bR_r$  abgebildet wird. Die Einhaltung dieser Nebenbedingung wird demnach als äußerst wichtig erachtet.<sup>177</sup>
- Die fiktiven Schulen der Testinstanzen der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, zwei Schulstandorte“ sind im Gegensatz zu den übrigen auf zwei Standorte verteilt. Ein Standort wird Hauptgebäude genannt und umfasst alle Unterrichtsräume mit Ausnahme der Sporthallen. Diese befinden sich an einem Standort, der als Leistungszentrum bezeichnet

<sup>175</sup> Vgl. Abschnitt 4.3.2.

<sup>176</sup> Vgl. Abschnitt 4.5.2.

<sup>177</sup> Vgl. Tabelle 5.9, S. 141.

wird. Der Wechsel zwischen beiden Standorten dauert zehn Minuten, was mit dem Parameter  $bUU_{u\bar{u}}$  entsprechend abgebildet wird.

### 5.1.7 Gestaltung der Mengen und Parameter der Lehrveranstaltungen

An den fiktiven Schulen gelten die Stundentafeln, die in Abschnitt 5.1.3 beschrieben werden. Sie bestimmen, welche Lehrveranstaltungen in welchem Umfang in jeder Klasse bzw. jeder Oberstufe zu unterrichten sind. Die Anzahl der Lehrveranstaltungen hängt von der jeweiligen Instanzengruppe ab. So müssen zum Beispiel an einer fiktiven Schule der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“ 486 verschiedene Lehrveranstaltungen mit insgesamt 1.116 Unterrichtsstunden eingeplant werden.

Aufgrund dieser hohen Anzahl wird auf eine ausführliche Darstellung der Elemente der Menge  $l$  der Lehrveranstaltungen verzichtet. Vielmehr wird dargestellt, wie die Werte der Parameter gestaltet sind.

- Basierend auf den Annahmen C1-03 und C2-03 wird modelliert, dass jede Lehrveranstaltung in jedem Unterrichtsraum und Raumtyp zu jedem Zeitraum 100% der Raumkapazität beansprucht. Ausnahmen bilden die Lehrveranstaltungen in **Sport**, die nur 50% der jeweiligen Kapazitäten zu jedem Zeitraum benötigen. Die Parameter  $kLY_{ly}$  und  $kLR_{lr}$ , die den Kapazitätsbedarf einer Lehrveranstaltung in einem Raumtyp bzw. Unterrichtsraum beschreiben, werden diesen Vorgaben zufolge entsprechend gestaltet.
- Unter Berücksichtigung der Annahmen C1-04 und C2-04 wird festgelegt, dass alle Unterrichtsstunden jeder Lehrveranstaltung vollständig eingeplant werden sollen. Jede zu wenig eingeplante Unterrichtsstunde verursacht 10.000.000 Strafpunkte, was durch den Parameter  $bL_l$  modelliert wird. Die Anzahl der im Rahmen des Wochenmodells einzuplanenden Unterrichtsstunden für eine Lehrveranstaltung werden mit dem Parameter  $sL_l$  beschrieben und können den Tabellen 5.6, 5.7 und 5.8 entnommen werden. Der Umfang der einzuplanenden Unterrichtsstunden an einem Unterrichtstag ist von der Lösung des Wochenmodells abhängig.
- Die Unterrichtsräume der fiktiven Schulen sind nach dem Klassenraumprinzip organisiert. Jeder Schulklasse der Sekundarstufe I wird demnach ein eigener Klassenraum zugeordnet.<sup>178</sup> Dabei handelt es sich stets um einen normalen Unterrichtsraum. In ihm soll die Schulklasse in **Mathematik**, **Deutsch**, **Sozialwissenschaften**, **Erdkunde** und **Englisch** unterrichtet werden.

---

<sup>178</sup> Vgl. Abschnitt 5.1.6, S. 144.

Für die Lehrveranstaltungen in **Religion**, **Latein** und **Französisch** werden die Schüler von je zwei Parallelklassen aufgeteilt und in den von ihnen gewählten Kursen zusammengefasst. Diese sollen jeweils einem der beiden Klassenräume zugeordnet werden. Für diese Lehrveranstaltungen wird daher gemäß den Annahmen C1-07 und C2-06 festgelegt, dass sie innerhalb der Wochenmodelle bevorzugt im Raumtyp „Normaler Raum“ und innerhalb der Tagesmodelle bevorzugt im jeweils ausgewählten Unterrichtsraum stattfinden sollen. Jede dort zu wenig eingeplante Unterrichtsstunde wird mit 3.050 Strafpunkten bestraft, was mit den Parametern  $bLvY_l$  und  $bLvR_l$  modelliert wird.

- Basierend auf den Annahmen C1-08 und C2-09 soll jede Lehrveranstaltung zu jedem Zeitraum ausschließlich in dem Raumtyp bzw. Unterrichtsraum stattfinden, der über die für den jeweiligen Unterricht benötigten Ausstattungsmerkmale verfügt. Dementsprechend soll eine Lehrveranstaltung nicht anderen Raumtypen bzw. Unterrichtsräumen zugeordnet werden. So soll bspw. verhindert werden, dass eine Lehrveranstaltung in **Deutsch** in der Sporthalle stattfindet. Die Nebenbedingungen werden ausschließlich hart formuliert, sodass der Wert der entsprechenden Parameter  $oLnYTS_{ytsl}$  bzw.  $oLnRS_{rsl}$  stets 2 beträgt.

Weitere Nebenbedingungen werden für die Lehrveranstaltungen in den Wochen- und Tagesmodellen der Testinstanzen nicht abgebildet. Dementsprechend beträgt der Wert der Parameter  $oLvT_l$ ,  $oLvS_{ls}$ ,  $oLmS_l$  und  $oLmR_l$  für alle Lehrveranstaltungen 0.

### 5.1.8 Gestaltung der Mengen und Parameter der Bezugsgruppen

Die Abhängigkeiten zwischen den Lehrveranstaltungen werden mit Hilfe von Bezugsgruppen abgebildet. Diese sind so vielfältig, dass bspw. an einer fiktiven Schule der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“ 617 Bezugsgruppen eingeplant werden müssen. Daher wird auf die ausführliche Darstellung der Elemente der Menge  $b$  in diesem Abschnitt verzichtet.

Um die Darstellung der Werte der Parameter zu vereinfachen, wird zwischen mehreren Typen von Bezugsgruppen unterschieden. Jede modellierte Bezugsgruppe eines fiktiven Stundenplanproblems wird genau einem der Typen zugeordnet, die im Folgenden beschrieben werden.

- **In jeder Testinstanz modellierte Typen von Bezugsgruppen**
  - **2-Stunden-Bezugsgruppen**

Jede Lehrveranstaltung mit zwei Unterrichtsstunden wird einer eige-

nen Bezugsgruppe zugeordnet. Eine solche Lehrveranstaltung ist zum Beispiel **Erdkunde**, die in einer der Schulklassen der Sekundarstufe I unterrichtet wird.<sup>179</sup>

– **3-Stunden-Bezugsgruppen**

Eine dreistündige Lehrveranstaltung wie bspw. **Physik** in der Sekundarstufe II, wird einer Bezugsgruppe dieses Typs zugeordnet.<sup>180</sup>

– **Gleichzeitigkeit-Bezugsgruppen**

Bestimmte Lehrveranstaltungen sollen gleichzeitig stattfinden und werden daher einer Bezugsgruppe zugeordnet, um ein Unterrichtsband zu bilden. Diese Lehrveranstaltungen sind zum Beispiel **Latein** und **Französisch** in der Sekundarstufe I. Die Schüler von zwei Schulklassen einer Jahrgangsstufe werden aufgeteilt und in den jeweiligen Kursen zusammengefasst. Weitere Differenzierungen der Schüler werden für **Religion (Katholisch)** und **Religion (Evangelisch)** sowie **Sport (Jungen)** und **Sport (Mädchen)** vorgenommen. Auch hier gilt, dass jeweils zwei Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen ein Unterrichtsband formen sollen. Ähnliches gilt für die Einplanung der Fachfelder. Diese umfassen allerdings zwischen drei und fünf Lehrveranstaltungen, so dass entsprechend drei bis fünf Unterrichtsstunden gleichzeitig stattfinden sollen.

– **5.-8.-Bezugsgruppen**

Alle Lehrveranstaltungen, die von einer Schulklasse der Jahrgangsstufen 5 bis 8 besucht werden muss, werden in einer eigenen Bezugsgruppe zusammengefasst. Dazu gehören auch die Lehrveranstaltungen, die gemeinsam mit einer Parallelklasse absolviert werden müssen.

– **9.&10.-Bezugsgruppen**

Die Lehrveranstaltungen jeder Schulklasse der Jahrgangsstufen 9 und 10 werden einer eigenen Bezugsgruppe zugeordnet.

– **Vollzeit-Lehrer-Bezugsgruppen**

Einer Bezugsgruppe dieses Typs werden alle Lehrveranstaltungen zugeordnet, die ein Lehrer mit einer vollen Stelle unterrichtet.

– **Teilzeit-Lehrer-Bezugsgruppen**

In jeweils einer eigenen Bezugsgruppe werden alle Lehrveranstaltungen eines Lehrers mit einer halben Stelle zusammengefasst.

– **Stunden-Lehrer-Bezugsgruppen**

Die Lehrveranstaltungen eines Lehrers, der an einer fiktiven Schule nur

---

<sup>179</sup> Vgl. Tabelle 5.5, S. 135.

<sup>180</sup> Vgl. Tabelle 5.7, S. 137.

stundenweise beschäftigt ist, werden einer eigenen Bezugsgruppe zugeordnet.

- **Nur in Testinstanzen der Instanzengruppe „Fünf Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, Oberstufe“ modellierte Typen von Bezugsgruppen**

- **5-Stunden-Bezugsgruppen**

Jede fünfstündige Lehrveranstaltung wird einer eigenen Bezugsgruppe zugeordnet. Hierbei handelt es sich ausschließlich um Leistungskurse in der Oberstufe.

- **Stufen-Bezugsgruppen**

Alle Lehrveranstaltungen, die in einer Jahrgangsstufe in der Sekundarstufe II angeboten werden, werden zu einer eigenen Bezugsgruppe zusammengefasst.

- **LK-Bezugsgruppen**

Alle Leistungskurse einer Jahrgangsstufe der Qualifikationsphase der Oberstufe werden einer Bezugsgruppe zugeordnet.

Für alle Bezugsgruppen eines Typs werden die gleichen Werte der Parameter modelliert. Eine Ausnahme bilden hierbei die Typen der Bezugsgruppen, in denen die Lehrveranstaltungen von Lehrern zusammengefasst sind. Um deren persönliche Präferenzen bezüglich der Einhaltung bestimmter Restriktionen abzubilden, werden die Werte einiger Gewichtungparameter unter Annahme der Gleichverteilung zufällig bestimmt. Es wird einer der Werte aus Tabelle 5.9 ausgewählt, der nicht kleiner 5 und nicht größer als 3.050 ist.<sup>181</sup>

Alle Parameter sind so gestaltet, dass die fiktiven Stundenplanprobleme als realistisch betrachtet werden können. Eine Übersicht der Werte der Parameter wird in Tabelle 5.14 gegeben.

**Tabelle 5.14:** Gestaltung der Parameter der Bezugsgruppen

Parameter	2-Stunden	3-Stunden	Gleichzeitigkeit	5.-8.	9.&10.	Vollzeit	Teilzeit	Stunden	5-Stunden	Stufen	LK
$oBV_b$	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0
$bBV_{bv}$	-	-	-	$10^7$	$10^7$	$10^7$	$10^7$	$10^7$	-	$10^7$	-

<sup>181</sup> Vgl. Tabelle 5.9, S. 141.

Fortsetzung der Tabelle „Gestaltung der Parameter der Bezugsgruppen“

Parameter	2-Stunden	3-Stunden	Gleichzeitigkeit	5.-8.	9.&10.	Vollzeit	Teilzeit	Stunden	5-Stunden	Stufen	LK
$oBxT_b$	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
$sBxT_b$	-	2	-	-	-	-	4	-	3	-	-
$bBxT_b$	-	$10^5$	-	-	-	-	ZF	-	$10^5$	-	-
$oBrT_b$	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$sBrT_b$	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$bBrxT_b$	1.885	1.885	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$oBxS_b$	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$sBxS_b$	1	2	-	7	7	6	6	6	2	7	3
$bBxS_b$	$10^5$	$10^5$	-	$10^5$	$10^5$	ZF	ZF	ZF	$10^5$	$10^5$	3.050
$oBiS_b$	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0
$sBiS_b$	-	-	-	5	5	3	-	-	-	5	-
$bBiS_b$	-	-	-	$10^5$	$10^5$	ZF	-	-	-	3.050	-
$oBxp_b$	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
$oBlu_b$	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
$bBlu_b$	-	$10^5$	-	-	-	-	-	-	$10^5$	-	-
$oBt_b$	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0
$sBt_b$	-	0(0)	-	0(0)	0(0)	2(6)	3(4)	-	0(0)	2(500)	-
$bBt_b$	-	$10^5$	-	$10^5$	$10^5$	ZF	ZF	-	$10^5$	1.885	-
$oBR_b$	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
$bBR_b$	-	$10^5$	-	-	-	-	-	-	$10^5$	-	-
$oBC_{bc}$	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
$bBC_{bc}$	-	-	-	$10^5$	$10^5$	-	-	-	$10^5$	-	-
$oBUw_b$	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
$bBUw_b$	-	-	-	3.050	3.050	3.050	3.050	3.050	-	-	-
$oBr_b$	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
$sBr_b$	-	-	-	7	7	-	-	-	-	-	-
$sBrx_b$	-	-	-	6	6	-	-	-	-	-	-
$bBrx_b$	-	-	-	ZF	ZF	-	-	-	-	-	-

Legende:

Fortsetzung der Tabelle „Gestaltung der Parameter der Bezugsgruppen“

---

$oBV_b$	Der Wert des Parameters beträgt 1, wenn bestimmte Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ nicht gleichzeitig stattfinden sollen
$bBV_{bv}$	Strafpunkte, wenn zwei oder mehr Unterrichtsstunden der Lehrveranstaltungen, die der gleichen Nicht-Gleichzeitigkeits-Gruppe $v$ der Bezugsgruppe $b$ zugeordnet sind, gleichzeitig stattfinden
$oBxT_b$	Der Wert des Parameters $oBxT_b$ beträgt 1, wenn die Anzahl der Unterrichtstage, auf welche die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ verteilt sind, eine bestimmte Schranke nicht überschreiten soll.
$sBxT_b$	Anzahl der maximal einzuplanenden Unterrichtstage für eine Bezugsgruppe
$bBxT_b$	Strafpunkte, wenn mehr als eine bestimmte Anzahl an Unterrichtstagen für eine Bezugsgruppe eingeplant werden
$oBrxT_b$	Der Wert des Parameters beträgt 1, wenn zwischen den Unterrichtstagen der Bezugsgruppe $b$ freie Unterrichtstage eingeplant werden sollen
$sBrT_b$	Mindestanzahl der freien Unterrichtstage zwischen zwei Unterrichtstagen, an denen die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe stattfinden
$bBrx_b$	Strafpunkte, wenn die Mindestanzahl der freien Unterrichtstage zwischen zwei Unterrichtstagen, an denen die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe stattfinden, unterschritten ist
$oBxS_b$	Der Wert des Parameters $oBxS_b$ beträgt 1, wenn die Anzahl der Schulstunden, auf welche die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ an einem Unterrichtstag verteilt sind, eine festgelegte Schranke nicht überschreiten soll
$sBxS_b$	Anzahl an Schulstunden, auf welche die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe an einem Unterrichtstag maximal verteilt werden sollen
$bBxS_b$	Strafpunkte, wenn mehr als eine bestimmte Anzahl an Schulstunden für die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe an einem Unterrichtstag eingeplant werden
$oBiS_b$	Der Wert des Parameters $oBiS_b$ beträgt 1, wenn die Anzahl der Schulstunden, auf die die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ an einem Unterrichtstag verteilt sind, eine festgelegte Schranke nicht unterschreiten soll.
$sBiS_b$	Anzahl an Schulstunden, auf die die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe an einem Unterrichtstag minimal verteilt werden sollen
$bBiS_b$	Strafpunkte, wenn weniger als eine bestimmte Anzahl an Schulstunden für die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe an einem Unterrichtstag eingeplant werden
$oBxp_b$	Parameter, dessen Wert 2 beträgt, wenn die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe ein Unterrichtsband bilden sollen
$oBlu_b$	Der Wert des Parameters $oBlu_b$ beträgt 1, wenn die aufeinanderfolgenden Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ nicht durch eine lange Pause unterbrochen werden sollen
$bBlu_b$	Strafpunkte, wenn zwei aufeinanderfolgende Lehrveranstaltungen durch eine lange Pause unterbrochen werden
$oBt_b$	Der Wert des Parameters $oBt_b$ beträgt 1, wenn nicht mehr als eine vorgegebene Anzahl an Freistunden eingeplant werden soll
$sBt_b$	Anzahl der maximal einzuplanenden Freistunden an einem Unterrichtstag, der eingeklammerte Wert bezeichnet die Anzahl der maximal einzuplanenden Freistunden pro Unterrichtswoche
$bBt_b$	Strafpunkte für jede zuviel eingeplante Freistunde
$oBR_b$	Der Wert des Parameters $oBR_b$ beträgt 1, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ dem gleichen Unterrichtsraum zugeordnet werden sollen

---

Fortsetzung der Tabelle „Gestaltung der Parameter der Bezugsgruppen“

$bBR_b$	Strafpunkte, wenn die Lehrveranstaltungen nicht im selben Unterrichtsraum stattfinden
$oBC_{bc}$	Der Wert des Parameters $oBC_{bc}$ beträgt 1, wenn die Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$ am Vormittag des Unterrichtstags stattfinden sollen
$bBC_{bc}$	Strafpunkte, wenn nicht jede Lehrveranstaltung am Vormittag des Unterrichtstags stattfindet
$oBUw_b$	Der Wert des Parameters $oBUw_b$ beträgt 1, wenn für die Bezugsgruppe $b$ überprüft werden soll, ob eventuelle Standortwechsel in den dazwischenliegenden Pausen vorgenommen werden können
$bBUw_b$	Strafpunkte, wenn ein Standortwechsel in der Unterrichtszeit vorgenommen werden muss (Wird nur in den Modellen der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, zwei Schulstandorte“ modelliert)
$oBrx_b$	Der Wert des Parameters $oBrx_b$ beträgt 1, wenn die Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe nicht an mehr als einer bestimmten Anzahl an Schulstunden innerhalb einer Zeitspanne stattfinden soll
$sBr_b$	Zeitspanne von aufeinanderfolgenden Schulstunden
$sBrx_b$	Maximale Anzahl an Schulstunden innerhalb einer Zeitspanne $sBr_b$ , an denen mindestens eine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe stattfindet
$bBrx_b$	Strafpunkte, wenn an zu vielen Schulstunden innerhalb der Zeitspanne mindestens eine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe $b$ stattfindet
ZF	Zufällig ausgewählte Anzahl an Strafpunkten des jeweiligen Parameters, die nicht kleiner als 5 und nicht größer als 3.050 ist

Anhand der Gestaltung der Strafpunkte kann nachvollzogen werden, welche Schwerpunkte bei der Lösung des Stundenplanproblems gesetzt werden. Die Einhaltung der Restriktion, dass die Lehrveranstaltungen eines Lehrers nicht gleichzeitig stattfinden sollen, wird zum Beispiel als besonders wichtig angesehen. Ein nachrangiges Ziel ist hingegen, dass zwischen den Unterrichtstagen der zwei- und dreistündigen Lehrveranstaltungen mindestens ein freier Unterrichtstag stattfindet.

Die Tabelle 5.14 veranschaulicht zudem, dass die offene und flexible Gestaltung der Modellierung eine präzise Abstufung der Wichtigkeit einer Nebenbedingung für ein Stundenplanproblem ermöglicht. So ist die Einhaltung der Restriktion zur Beschränkung der Freistunden für die Bezugsgruppen des Typs „5.-8.“ von großer, für die des Typs „Stufen“ von geringer Bedeutung.

### 5.1.9 Kriterien zum Abbruch der Lösungsprozesse

Der gesamte Prozess zur Lösung der Testinstanzen umfasst mehrere Teilprozesse.<sup>182</sup> Die jeweiligen Abbruchkriterien werden im Folgenden erläutert.

<sup>182</sup> Vgl. Algorithmus 3.1, S. 62.

- Die Prozesse zur Lösung der Wochen- und Tagesmodelle werden abgebrochen, wenn mindestens eines der beiden folgenden Kriterien erfüllt ist.<sup>183</sup>
  - **Vorgegebenes Modell-Zeitlimit überschritten**  
Der Prozess zur Lösung eines Wochenmodells wird nach zehn Stunden, der eines Tagesmodells nach acht Stunden abgebrochen.
  - **Akzeptable Abweichung von der optimalen Lösung**  
Die Berechnungen eines Wochenmodells werden beendet, wenn eine optimale Lösung gefunden ist. Für die Tagesmodelle genügt ein Ergebnis, das nicht um mehr als 100 Strafpunkte vom Optimum abweicht.
- Die jeweiligen Tagesmodelle werden iterativ gelöst. Die Reihenfolge der Tagesmodelle entspricht der natürlichen Reihenfolge gemäß der Stellung der Tage innerhalb der Woche. Die Iteration wird abgebrochen, wenn mindestens eines der folgenden Kriterien erfüllt ist.<sup>184</sup>
  - **Vorgegebenes Gesamt-Zeitlimit überschritten**  
Die Berechnungen wurden auf den Computern des Rechenzentrums Niedersachsen durchgeführt. Dort ist vorgegeben, dass kein Rechenjob länger als 100 Stunden dauern darf. Dementsprechend betrug das Gesamt-Zeitlimit zur Lösung der Testinstanzen 90 Stunden. Dadurch wird ein ausreichender Puffer geschaffen, um Tagesmodelle, die bspw. nach 89 Stunden und 59 Minuten gestartet wurden, innerhalb des Zeitlimits des Rechenzentrums beenden zu können.
  - **Vorgegebenes Gesamt-Strafpunktelimit unterschritten**  
Es wird kein weiteres Tagesmodell mehr gelöst, wenn die Gesamt-Strafpunkte einer Unterrichtswoche weniger als 1.000 betragen. Die Strafpunkte, die die Lösung eines Wochenmodells verursacht, werden hierbei nicht mitgerechnet.
  - **Keine Verbesserung der ermittelten Gesamt-Strafpunkte**  
Es soll kein weiteres Tagesmodell mehr gelöst werden, wenn die Gesamt-Strafpunkte zehnmal in Folge gleich sind.

## 5.2 Numerische Ergebnisse der Testinstanzen

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Untersuchung der numerischen Ergebnisse. Zunächst stehen die Lösungen der Wochenmodelle im Mittelpunkt der Betrachtung. Diese werden zwar nur in 16 von 40 Fällen optimal gelöst, wie Tabelle

---

<sup>183</sup> Vgl. Abschnitt 3.4.2, S. 57.

<sup>184</sup> Vgl. Abschnitt 3.4.2, S. 58.

5.15 entnommen werden kann. Allerdings sind auch die anderen 24 Ergebnisse akzeptabel, da nur zwei weniger wichtige Nebenbedingungen verletzt wurden. Dadurch wurden jeweils nicht mehr als 1.885 Strafpunkte verursacht.

- Basierend auf Annahme D1-04, sollen zwischen den Unterrichtstagen, an denen Zwei-Stunden- und Drei-Stunden-Bezugsgruppen stattfinden, mindestens ein freier Unterrichtstag eingeplant werden. Insgesamt wurde die Restriktion nur siebenmal verletzt. Aber angesichts der Tatsache, dass zwischen den Unterrichtstagen der insgesamt 14.473 anderen Bezugsgruppen wie gefordert mindestens ein freier Unterrichtstag eingeplant ist, können diese sieben Verletzungen als Marginalien betrachtet werden.
- Annahme D1-07 gemäß soll der Unterricht der Lehrer mit einer Teilzeitstelle nur an vier Unterrichtstagen stattfinden. Mehrfach wird der Unterricht auf fünf Unterrichtstage verteilt. Einem Planer eröffnet sich dadurch allerdings die Möglichkeit, durch Verhandlungen die Akzeptanz eines Stundenplans zu erhöhen. So kann er bspw. aushandeln, dass die Wünsche der betroffenen Lehrer beim nächsten Stundenplan auf jeden Fall erfüllt werden, solange sie im Gegenzug den aktuellen akzeptieren.

Die Lösungen der Wochenmodelle können daher als akzeptabel angesehen werden, weil alle anderen harten und weichen Restriktionen vollständig erfüllt wurden.

**Tabelle 5.15:** Statistiken zu den Lösungen der Wochenmodelle der Testinstanzen

Testinstanz	Zeit	SP Gesamt	SP D1-04	SP D1-07
6x4-01	10:00	1.885	1.885	-
6x4-02	10:00	105	-	105
6x4-03	10:00	3.115	-	3.115
6x4-04	01:38	-	-	-
6x4-05	10:00	5	-	5
6x4-06	10:00	145	-	145
6x4-07	01:21	-	-	-
6x4-08	02:09	-	-	-
6x4-09	02:25	-	-	-
6x4-10	10:00	1.885	-	1.885
6x6-01	10:00	170	-	170
6x6-02	05:52	-	-	-
6x6-03	04:53	-	-	-

Fortsetzung der Tabelle „Statistiken zu den Lösungen der Wochenmodelle der Testinstanzen“

<b>Testinstanz</b>	<b>Zeit</b>	<b>SP Gesamt</b>	<b>SP D1-04</b>	<b>SP D1-07</b>
6x6-04	10:00	195	-	195
6x6-05	10:00	1.785	-	1.785
6x6-06	10:00	105	-	105
6x6-07	02:18	-	-	-
6x6-08	02:45	-	-	-
6x6-09	10:00	55	-	55
6x6-10	01:55	-	-	-
2SO-01	10:00	1.885	1.885	-
2SO-02	10:00	1.885	1.885	-
2SO-03	10:00	4.935	3.770	1.165
2SO-04	10:00	2.160	1.885	275
2SO-05	00:34	-	-	-
2SO-06	00:44	-	-	-
2SO-07	00:40	-	-	-
2SO-08	00:40	-	-	-
2SO-09	00:39	-	-	-
2SO-10	00:43	-	-	-
OBS-01	01:44	-	-	-
OBS-02	10:00	170	-	170
OBS-03	10:00	485	-	485
OBS-04	10:00	2.110	1.885	25
OBS-05	10:00	275	-	275
OBS-06	10:00	275	-	275
OBS-07	10:00	155	-	155
OBS-08	10:00	170	-	170
OBS-09	10:00	1.165	-	1.165
OBS-10	10:00	300	-	300

**Legende:**

<b>Zeit</b>	Rechenzeit in Stunden
<b>SP Gesamt</b>	Anzahl der Strafpunkte eines Wochenmodells insgesamt
<b>SP D1-04</b>	Gesamtanzahl der Strafpunkte, weil zwischen den Unterrichtstagen, an denen eine Bezugsgruppe stattfindet, weniger als eine festgelegte Anzahl an freien Unterrichtstagen eingeplant ist
<b>SP D1-07</b>	Gesamtanzahl der Strafpunkte, weil eine Bezugsgruppe an mehr Unterrichtstagen als vorgesehen stattfindet

Fortsetzung der Tabelle „Statistiken zu den Lösungen der Wochenmodelle der Testinstanzen“

---

<b>6x4-XX</b>	Testinstanz der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen“
<b>6x6-XX</b>	Testinstanz der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“
<b>2SO-XX</b>	Testinstanz der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, zwei Schulstandorte“
<b>OBS-XX</b>	Testinstanz der Instanzengruppe „Fünf Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, Oberstufe“

---

Über die Lösungen der Tagesmodelle der Testinstanzen können ähnliche Aussagen wie über die der Wochenmodelle getroffen werden. So wurden alle als wichtig erachteten Restriktionen vollständig erreicht, wie auch fast alle weniger wichtigen. Dies kann anhand von Tabelle 5.16 nachvollzogen werden.

Die nicht erreichten Nebenbedingungen sollen im Folgenden ausführlich beschrieben werden.

- Nach Annahme C2-06 sollen bestimmte Lehrveranstaltungen in bestimmten Unterrichtsräumen bevorzugt unterrichtet werden. Es konnten insgesamt drei Unterrichtsstunden nicht im Klassenraum der jeweiligen Schulklasse stattfinden. Allerdings wurden diese einem anderen, ebenso geeigneten Unterrichtsraum zugeordnet.
- Annahme D2-06 gemäß ist für manche Bezugsgruppen eine Beschränkung der Freistunden pro Unterrichtstag und Unterrichtswoche vorgesehen. Der Anteil der Strafpunkte, die durch nicht eingehaltene Restriktionen für Bezugsgruppen von Lehrern verursacht werden, ist bei den Lösungen der Tagesmodelle deutlich geringer als bei den der Wochenmodelle. Für wenige Lehrer werden zu viele Freistunden eingeplant, entweder an einem Unterrichtstag oder in einer Unterrichtswoche. Allerdings sind diese Verletzungen nicht sonderlich schwerwiegend, da kein Lehrer mehr als eine zusätzliche Freistunde zu absolvieren hat.
- Der Annahme D2-08 zufolge, sollen bestimmte Lehrveranstaltungen nur zu einem festgelegten Tagesabschnitt stattfinden. Neun Unterrichtsstunden finden nicht am Vormittag, sondern in der achten Schulstunde statt. Das bedeutet im Umkehrschluss aber auch, dass sich 99,6% aller in den Testinstanzen modellierten Schulklassen spätestens nach der siebten Schulstunde auf den Weg nach Hause begeben können.
- Basierend auf Annahme D2-09 soll vermieden werden, dass Standortwechsel in der Unterrichtszeit vorgenommen werden müssen. Die Auswertung der

Testinstanzen ergibt, dass sich dies bei insgesamt nur 14 Schulklassen nicht verhindern ließ. Dies entspricht allerdings nur 5,8% aller Schulklassen, die Teil einer der fiktiven Schulen der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, zwei Schulstandorte“ sind.

**Tabelle 5.16:** Statistiken zu den Lösungen der Tagesmodelle der Testinstanzen

Testinstanz	Zeit	Abbruch	Anz. TM	SP Gesamt	SP C2-06	SP D2-06	SP D2-08	SP D2-09
6x4-01	08:50	KV	16	1.885	-	-	1.885	-
6x4-02	04:08	SL	5	65	-	65	-	-
6x4-03	08:50	SL	5	65	-	65	-	-
6x4-04	19:33	KV	18	1.900	-	15	1.885	-
6x4-05	12:03	SL	5	30	-	30	-	-
6x4-06	10:14	SL	5	-	-	-	-	-
6x4-07	11:35	SL	5	10	-	10	-	-
6x4-08	08:38	SL	5	105	-	105	-	-
6x4-09	13:27	SL	5	185	-	185	-	-
6x4-10	27:24	KV	21	3.770	-	55	3.770	-
6x6-01	74:43	SL	13	305	-	305	-	-
6x6-02	65:03	SL	10	15	-	15	-	-
6x6-03	92:33	SL	15	60	-	60	-	-
6x6-04	83:27	ZL	17	1.885	-	-	1.885	-
6x6-05	70:34	SL	13	20	-	20	-	-
6x6-06	84:15	ZL	17	8.385	6.100	400	1.885	-
6x6-07	65:27	SL	13	15	-	15	-	-
6x6-08	57:10	SL	10	195	-	195	-	-
6x6-09	37:55	SL	11	95	-	95	-	-
6x6-10	91:57	ZL	19	3.095	3.050	45	-	-
2SO-01	48:48	KV	27	4.660	-	-	-	4.460
2SO-02	84:53	ZL	31	4.680	-	20	-	4.460
2SO-03	74:00	KV	20	4.465	-	5	-	4.460
2SO-04	36:19	KV	15	2.260	-	30	-	2.230
2SO-05	19:56	KV	18	2.280	-	50	-	2.230
2SO-06	18:44	KV	20	2.230	-	-	-	2.230
2SO-07	33:58	KV	21	3.770	-	-	-	3.770
2SO-08	49:14	KV	17	4.660	-	-	-	4.660
2SO-09	23:10	KV	11	10.760	-	-	3.770	6.990

Fortsetzung der Tabelle „Statistiken zu den Lösungen der Tagesmodelle der Testinstanzen“

Testinstanz	Zeit	Abbruch	Anz. TM	SP Gesamt	SP C2-06	SP D2-06	SP D2-08	SP D2-09
2SO-10	35:33	KV	16	9.150	-	-	3.770	5.655

**Legende:**

<b>Zeit</b>	Rechenzeit in Stunden
<b>Abbruch</b>	Kriterium, nach dem die Iteration der Tagesmodelle abgebrochen wurde
<b>SL</b>	Strafpunktlimit
<b>ZL</b>	Zeitlimit
<b>KV</b>	Keine Verbesserung der Gesamt-Strafpunkte
<b>Anz. TM</b>	Anzahl gelöster Tagesmodelle
<b>SP Gesamt</b>	Anzahl der Strafpunkte aller Tagesmodelle insgesamt
<b>SP C2-06</b>	Gesamtanzahl der Strafpunkte, weil eine Lehrveranstaltung in einem bestimmten Unterrichtsraum stattfindet
<b>SP D2-06</b>	Gesamtanzahl der Strafpunkte, weil für eine Bezugsgruppe mehr als eine bestimmte Anzahl an Freistunden eingeplant ist
<b>SP D2-08</b>	Gesamtanzahl der Strafpunkte, weil nicht alle Lehrveranstaltungen einer Bezugsgruppe zu bestimmten Schulstunden stattfinden
<b>SP D2-09</b>	Gesamtanzahl der Strafpunkte, weil der Wechsel zwischen den Standorten einer Schule für eine Bezugsgruppe Unterrichtszeit in Anspruch nimmt
<b>6x4-XX</b>	Testinstanz der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen“
<b>6x6-XX</b>	Testinstanz der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“
<b>2SO-XX</b>	Testinstanz der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, zwei Schulstandorte“

Dem Autor erscheinen die erstellten Stundenpläne sowohl für die Schüler, als auch für die Lehrer absolut zumutbar und können daher an der jeweiligen fiktiven Schule eingeführt werden. Keiner von ihnen ist zwar optimal, aber einige sind nicht weit davon entfernt. So verursacht zum Beispiel die Lösung der Testinstanz „6x4-07“ nur insgesamt 10 Strafpunkte. Weitere fast optimale Stundenpläne konnten für die Testinstanzen „6x6-02“, „6x6-07“ und „6x4-05“ erstellt werden.

Diese Stundenpläne dürften an einer realen Schule auf eine hohe Akzeptanz stoßen, weil jede als wichtig erachtete Nebenbedingung vollständig erfüllt ist. Außerdem wird auch der überragende Anteil der als weniger wichtig erachteten Anforderungen erfüllt. Vielfach bietet sich die Möglichkeit, durch erfolgreiche Verhandlungen die Akzeptanz eines Stundenplans, zum Beispiel unter den Lehrern, deutlich zu steigern.

In diesem Zusammenhang ist allerdings auch interessant, nach wie vielen Stunden ein Stundenplan erzeugt wird, der alle als besonders wichtig erachteten Nebenbedingungen erfüllt. Wenn eine dieser Nebenbedingungen verletzt wird, dann werden jeweils entweder 100.000 oder 10.000.000 Strafpunkte verursacht. Demnach ist jede Lösung eines Tages- oder Wochenmodells mit weniger als 100.000 Strafpunkte akzeptabel. In Tabelle 5.17 wird dargestellt, wie lange es dauert, bis ein Wochen- bzw. ein Tagesmodell diese Schranke unterschreitet. Die benötigte Zeit ist in Stunden, Minuten und Sekunden aufgeschlüsselt.

**Tabelle 5.17:** Dauer in Stunden bis eine akzeptable Lösung eines Modells eines Stundenplanproblems erstellt wurde

Testinstanz	Wochenmodell	Montag	Diens-tag	Mitt-woch	Don-nerstag	Freitag	Gesamt
6x4-01	1:52:34	0:34:12	0:22:45	0:47:01	0:56:33	0:22:09	4:55:14
6x4-02	1:38:21	0:22:56	0:47:21	0:31:16	0:35:27	1:07:52	5:03:13
6x4-03	2:03:55	0:23:53	3:23:10	0:36:14	0:51:23	0:45:44	8:04:19
6x4-04	1:37:21	0:28:04	0:25:26	9:41:55	1:53:08	0:51:22	14:57:16
6x4-05	2:11:13	1:50:00	0:49:05	1:52:28	4:23:44	2:21:23	13:27:53
6x4-06	1:56:12	1:48:23	1:36:07	3:02:14	1:50:10	1:20:34	11:33:40
6x4-07	1:10:44	1:19:37	0:40:32	3:10:12	1:34:00	2:29:33	10:24:38
6x4-08	2:09:27	0:41:45	3:47:29	0:21:05	0:41:56	0:37:02	8:18:44
6x4-09	2:25:05	1:00:33	0:32:40	1:58:13	0:28:33	4:32:52	10:57:56
6x4-10	1:23:51	3:21:13	0:14:06	5:29:10	0:41:34	1:21:21	12:31:15
6x6-01	1:56:31	4:56:14	4:23:12	6:23:13	4:12:23	13:12:11	35:03:44
6x6-02	5:52:58	6:34:21	3:20:26	5:31:21	13:30:30	12:01:06	46:50:42
6x6-03	4:53:20	4:16:17	2:27:02	23:01:54	4:54:40	22:01:12	61:34:25
6x6-04	2:05:31	3:57:31	9:12:42	4:33:20	6:32:12	5:52:21	32:13:37
6x6-05	3:23:41	3:11:41	14:32:51	7:45:51	13:07:24	7:41:01	49:42:29
6x6-06	2:18:22	6:58:53	10:20:01	20:34:16	5:09:44	7:21:54	52:43:10
6x6-07	2:45:15	2:49:44	5:43:55	12:01:06	6:54:21	7:05:07	37:19:28
6x6-08	3:30:21	3:39:25	12:42:09	11:32:12	3:40:51	4:21:01	39:25:59
6x6-09	1:55:11	15:41:05	4:07:34	2:08:16	19:55:00	1:28:58	45:16:04
6x6-10	4:03:51	3:00:45	20:02:45	2:22:19	2:21:22	2:15:12	34:06:14
2SO-01	1:43:44	6:05:51	0:34:25	11:03:23	3:01:39	1:51:04	24:20:06
2SO-02	2:19:23	3:32:12	10:01:23	0:27:00	0:31:34	13:05:31	29:57:03
2SO-03	1:12:16	5:51:23	2:12:34	6:13:41	1:47:21	13:51:42	31:08:57
2SO-04	0:53:17	0:56:03	0:33:28	1:12:51	3:34:09	2:59:01	10:08:49

Fortsetzung der Tabelle „Dauer in Stunden bis eine akzeptable Lösung eines Modells eines Stundenplanproblems erstellt wurde“

Testinstanz	Wochenmodell	Montag	Diens-tag	Mitt-woch	Don-nerstag	Freitag	Gesamt
2SO-05	0:34:57	5:39:03	6:01:09	3:23:03	1:41:33	1:00:05	18:19:50
2SO-06	0:44:15	1:55:58	1:01:14	5:21:07	0:55:23	6:31:06	16:29:03
2SO-07	0:40:20	1:00:13	4:51:06	0:30:50	1:01:10	6:37:51	14:41:30
2SO-08	0:40:54	2:29:29	9:01:03	1:30:50	12:54:01	1:27:42	28:03:59
2SO-09	0:39:54	3:01:45	0:26:48	1:11:44	0:43:01	0:51:51	6:55:03
2SO-10	0:43:38	12:32:51	0:52:01	0:36:54	6:12:17	4:43:23	25:41:04

Legende:

<b>6x4-XX</b>	Testinstanz der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen“
<b>6x6-XX</b>	Testinstanz der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“
<b>2SO-XX</b>	Testinstanz der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, zwei Schulstandorte“

Um die Testinstanzen der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen“ so zu lösen, dass die Ergebnisse weniger als 100.000 Strafpunkte verursachen, werden der Tabelle 5.17 zufolge insgesamt 100 Stunden Rechenzeit benötigt. Es werden 81 weitere Stunden dazu verwendet, um die Qualität der Stundenpläne weiter zu verbessern. Daraus folgt, dass im Schnitt nach bereits 55% der Rechenzeit für jede Testinstanz eine akzeptable Lösung erstellt werden konnte.

Ähnliches ist bei den beiden anderen Instanzengruppen feststellbar. Bei den Testinstanzen der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“ wird ebenfalls im Schnitt nur 55% der Rechenzeit für die Generierung einer akzeptablen Lösung benötigt, für die der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, zwei Schulstandorte“ gar nur 41%.

Aus den vorangegangenen Ausführungen müssen die Lösungen der Testinstanzen der Instanzengruppe „Fünf Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, Oberstufe“ allerdings ausgeklammert werden. Es war nicht möglich, innerhalb des 100-Stunden-Limits für Rechenjobs, das vom Rechenzentrum Niedersachsen jedem auferlegt wird, akzeptable Stundenpläne zu erstellen. Jede weiche Nebenbedingung wurde mindestens einmal verletzt, unabhängig davon, ob dadurch hohe oder niedrige Strafpunkte verursacht wurden. Aus diesem Grund wird auf eine ausführliche Darstellung der Lösungen in den Tabellen 5.16 und 5.17 verzichtet.

Dennoch können auch für diese Testinstanzen zum großen Teil akzeptable Stundenpläne erzeugt werden. Dazu wurde die Anzahl der maximal einzuplanenden Freistunden der Lehrer pro Unterrichtswoche auf 500 erhöht. Diese hohe Anzahl wurde gewählt, weil dadurch praktisch keine Abhängigkeiten mehr zwischen den jeweiligen Tagesmodellen bestehen. Jedes wird genau einmal gelöst, wobei ein Zeitlimit von 98 Stunden angelegt wird. Die Ergebnisse werden in Tabelle 5.18 dargestellt.

**Tabelle 5.18:** Lösungen der Tagesmodelle der Instanzengruppe „Fünf Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, Oberstufe“

Testinstanz		Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
OBS-01	SP	115.970	65	7.545	0	25
OBS-01	Zeit	98:00	19:34	98:00	12:36	0:20
OBS-02	SP	0	0	0	0	35
OBS-02	Zeit	57:41	1:18	18:04	24:49	29:35
OBS-03	SP	0	0	18.775	15.080	0
OBS-03	Zeit	60:40	4:32	98:00	98:00	1:27
OBS-04	SP	0	0	0	16.995	0
OBS-04	Zeit	28:34	1:03	18:13	98:00	2:51
OBS-05	SP	0	101.885	0	0	0
OBS-05	Zeit	2:20	98:00	2:32	6:10	29:59
OBS-06	SP	5	40	426.050	20	0
OBS-06	Zeit	18:08	38:42	98:00	5:41	1:37
OBS-07	SP	10	25	25	10	10
OBS-07	Zeit	1:02	2:25	60:39	47:39	5:10
OBS-08	SP	0	65	0	5000	0
OBS-08	Zeit	3:32	78:35	7:21	98:00	3:29
OBS-09	SP	0	7555	0	0	30
OBS-09	Zeit	13:45	98:00	46:56	68:51	2:07
OBS-10	SP	75	0	25	0	0
OBS-10	Zeit	16:13	2:25	11:22	9:45	3:18

**Legende:**

<b>Zeit</b>	Rechenzeit in Stunden
<b>SP</b>	Gesamtanzahl der Strafpunkte eines Tagesmodells
<b>OBS-XX</b>	Testinstanz der Instanzengruppe „Fünf Jahrgangsstufen mit je vier Schulklassen, Oberstufe“

Für 41 der 50 Tagesmodelle konnten Lösungen gefunden werden, die entweder optimal sind oder weniger als 100 Strafpunkte verursachen. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Erstellung von akzeptablen Stundenplänen für die fiktiven Schulen dieser Instanzengruppe mit abhängigen Tagesmodellen bei einem größeren Zeitlimit möglich gewesen wäre.

Es fällt allerdings auf, dass innerhalb einer Testinstanz erhebliche Diskrepanzen zwischen den benötigten Rechenzeiten bestehen. So konnte für das Tagesmodell des Freitag der Testinstanz „OBS-01“ bereits nach 20 Minuten eine akzeptable Lösung gefunden werden. Dagegen war das Tagesmodell des Montags auch nach 98 Stunden nicht ausreichend gelöst. Diese Diskrepanz wird im Folgenden wieder aufgegriffen und diskutiert.

Zunächst steht die Frage im Mittelpunkt, wie viel Rechenzeit überhaupt vertretbar ist. Zu ihrer Beantwortung muss der Bezug zu dem zeitlichen Aufwand hergestellt werden, der in der Praxis aufgrund der dort üblichen Methoden zur Erstellung von Stundenplänen üblich ist. Sowohl die rein manuelle Erstellung der Stundenpläne, als auch die Verwendung von kommerziellen Softwareprodukten verursachen einen Arbeitsaufwand für die Planer von bis zu fünf Arbeitswochen.<sup>185</sup>

Auf den ersten Blick erscheinen Rechenzeiten von bis zu 100 Stunden zur Erstellung eines nahezu optimalen Stundenplans als unvertretbar lang. Allerdings erfordert der in dieser Arbeit vorgestellte Lösungsprozess kein aktives Eingreifen des Planers, wie dies bei kommerziellen Softwareprodukten zwingend notwendig ist.<sup>186</sup> Dadurch können an den bisher ungenutzten Abenden, Nächten und Wochenenden Berechnungen stattfinden, und sich somit die langen Rechenzeiten relativieren. Außerdem kann sich der Planer währenddessen anderen Aufgaben zuwenden.

Die Verwendung des in Cplex implementierten exakten Branch-and-Bound-Verfahrens wirkt sich ebenfalls positiv auf den erforderlichen Arbeitsaufwand aus. Im Gegensatz zu den Heuristiken wird garantiert eine optimale Lösung gefunden, sofern eine existiert. Das hat zum einen zur Folge, dass bessere Stundenpläne erstellt werden können. Dadurch muss weniger Zeit dafür aufgewendet werden, um durch nachträgliche Verhandlungen dessen Akzeptanz zu steigern.

Zum anderen werden Fehler, die bspw. auf einer inkonsistenten Datengrundlage beruhen, schneller aufgedeckt, weil zwar ein mathematisch optimaler, aber kein praktisch akzeptabler Stundenplan gefunden werden kann.

Zwar besteht weiterhin der Nachteil, dass nicht garantiert werden kann, dass akzeptable Lösungen in vertretbarer Rechenzeit gefunden werden. Aber die exakten Verfahren, die in Standard-Optimierungssoftware implementiert sind,

---

<sup>185</sup> Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 59f).

<sup>186</sup> Vgl. Arai (2005, S. 62f).

offenbaren dennoch ihr enormes Potential. Da ein Ende von deren Entwicklung und der der Computer-Prozessoren momentan nicht absehbar ist, kann davon ausgegangen werden, dass in Zukunft noch größere und komplexere Modelle nahezu optimal gelöst werden können.

Bereits die derzeitige Leistungsfähigkeit der PC und Standard-Optimierungssoftware ist sehr beeindruckend. So bildet Hilbert-Siekmann (2001) Totalmodelle von realen Stundenplanproblemen Berliner Schulen, findet jedoch unter Verwendung eines exakten Verfahrens innerhalb von 24 Stunden keine zulässige Lösung. Auch eine Zerlegung nach dem Prinzip der hierarchischen Dekompositionsstrategie scheitert.<sup>187</sup>

Leider konnte eine Untersuchung der dort betrachteten Testinstanzen nicht im Rahmen dieser Arbeit vorgenommen werden, da diese nicht ausreichend rekonstruiert werden können.

Daher soll ein einfacher Vergleich der Koeffizientenmatrizen vorgenommen werden. Diese sind deutlich kleiner als die in dieser Arbeit untersuchten Wochen- und Tagesmodelle. Sie beinhalten zum Beispiel nur zwischen 39.000 und 78.000 Nicht-Null-Elementen. Wie Tabelle 5.19 entnommen werden kann, umfassen die in dieser Arbeit betrachteten Koeffizientenmatrizen viel mehr dieser Elemente. Dies verdeutlicht die sprunghafte Entwicklung der Technologie und der Standard-Optimierungssoftware seit 2001.

**Tabelle 5.19:** Statistiken zu den Koeffizientenmatrizen der Wochen- und Tagesmodelle der Testinstanzen

Kategorien	6x4	6x6	2SO	OBS
$\bar{x}$ Zeilen WM	13.296	19.734	13.320	15.190
$\sigma$ Zeilen WM	29,2	31	26	99
$\bar{x}$ Spalten WM	27.028	40.328	27.051	32.010
$\sigma$ Spalten WM	29,9	31	26	103
$\bar{x}$ Nicht-Null-Elemente WM	278.621	417.803	278.623	324.415
$\sigma$ Nicht-Null-Elemente WM	263,2	347	314	702
$\bar{x}$ Diskrete Variablen WM	19.269	28.906	19.270	23.281
$\sigma$ Diskrete Variablen WM	3,4	4	3	9
$\bar{x}$ MB WM	39	60	39	45
$\sigma$ MB WM	0	0	0	0
$\bar{x}$ Zeilen TM	3.915	6.491	6.961	5.780
$\sigma$ Zeilen TM	621,0	1.121,0	1.586,7	1.024,9
$\bar{x}$ Spalten TM	21.882	45.804	25.159	37.479
$\sigma$ Spalten TM	3.569,2	7.822,8	4.625,4	6.506,8

<sup>187</sup> Vgl. Hilbert-Siekmann (2001, S. 216ff).

Fortsetzung der Tabelle „Statistiken zu den Koeffizientenmatrizen der Wochen- und Tagesmodelle der Testinstanzen“

Kategorien	6x4	6x6	2SO	OBS
$\bar{x}$ Nicht-Null-Elemente TM	199.649	432.957	263.037	306.156
$\sigma$ Nicht-Null-Elemente TM	34.518,6	76.143,7	51.330,8	54.819,4
$\bar{x}$ Diskrete Variablen TM	19.563	41.696	19.184	33.390
$\sigma$ Diskrete Variablen TM	3.334,6	7.226,9	3.449,4	5.908,1
$\bar{x}$ MB TM	20	39	24	30
$\sigma$ MB TM	3,1	6,6	4,4	5,0

Legende:

<b>WM</b>	Wochenmodell
<b>TM</b>	Tagesmodell
<b>MB</b>	Megabyte
$\bar{x}$	Mittelwert
$\sigma$	Standardabweichung
<b>6x4</b>	Instanzen­gruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schul­klassen“
<b>6x6</b>	Instanzen­gruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schul­klassen“
<b>2SO</b>	Instanzen­gruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je vier Schul­klassen, zwei Schul­standorte“
<b>OBS</b>	Instanzen­gruppe „Fünf Jahrgangsstufen mit je vier Schul­klassen, Ober­stufe“

Generell fällt ein Vergleich zwischen den Modellen verschiedener Stundenplanprobleme nur anhand der Koeffizientenmatrizen sehr schwer. Schließlich lassen die Anzahl der Variablen oder Nicht-Null-Elementen keine eindeutigen Schlüsse auf den zu erwartenden Aufwand zur Lösung eines Modells zu. Dieser hängt nicht nur von der Größe eines Modells ab, sondern vor allem von dessen Struktur.

Als Beispiel sei darauf verwiesen, dass die Koeffizientenmatrizen der Testinstanzen der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schul­klassen“ deutlich größer sind als die der Instanzengruppe „Fünf Jahrgangsstufen mit je vier Schul­klassen, Oberstufe“. Dennoch werden sie deutlich schneller und besser gelöst, was anhand der Tabellen 5.15, 5.16 und 5.18 nachvollzogen werden kann.

In diesem Zusammenhang ist auch die hierarchische Dekomposition des Problems der Unterrichtsstunden­zuordnung kritisch zu bewerten. Denn durch die Lösung eines Wochenmodells kann die Struktur und Komplexität der Tagesmodelle nur bedingt gesteuert werden.

Am deutlichsten tritt dieses Problem bei den Testinstanzen der Instanzengruppe „Fünf Jahrgangsstufen mit je vier Schul­klassen, Oberstufe“ in Erscheinung. Der erforderliche Aufwand zur Lösung eines Tagesmodells unterscheidet sich teilweise enorm von dem für andere der gleichen Testinstanz. Wie

Tabelle 5.18 entnommen werden kann, wird zum Beispiel für das Tagesmodell Freitag der Testinstanz „OBS-06“ nach etwa anderthalb Stunden optimal gelöst. Eine akzeptable Lösung für das Modell des Mittwoch konnte hingegen auch nach 98 Stunden nicht erstellt werden.

Als ähnlich problematisch ist die Dekomposition des Gesamtproblems nach dem Prinzip des Course Scheduling zu betrachten. Die fiktiven Stundenplanprobleme einer Instanzengruppe sind nahezu exakt gleich konstruiert. Der einzige Unterschied zwischen ihnen besteht in der Verteilung der Unterrichtsstunden auf die Lehrer. Diese wirkt sich nicht sonderlich stark auf die Größe der Wochenmodelle innerhalb einer Instanzengruppe aus, wie anhand der in Tabelle 5.19 beschriebenen geringen Standardabweichungen nachvollzogen werden kann. Sie beeinflusst aber maßgeblich deren Struktur und damit deren Komplexität. So veranschaulicht Tabelle 5.15, dass zwischen den Wochenmodellen einer Instanzengruppe erhebliche Diskrepanzen in Bezug auf den benötigten Aufwand zu deren Lösung bestehen. Einen der größten Unterschiede weisen die Testinstanzen „2SO-04“ und „2SO-05“ auf. So konnte das Wochenmodell der einen Testinstanz nach 34 Minuten optimal gelöst werden, wohingegen bei der anderen nach zehn Stunden nur eine akzeptable Lösung gefunden wurde. Diese Diskrepanz ist nur durch die unterschiedlichen Unterrichtsstundenverteilungen erklärbar.

Demnach ist der Einfluss der Unterrichtsstundenverteilung auf die Unterrichtsstundenzuordnung und damit auf die Stundenplanerstellung enorm. Es ist daher umso erstaunlicher, dass dem Autor diesbezüglich keine entsprechenden Untersuchungen für allgemeinbildende Schulen in Deutschland bekannt sind. Diese wären insofern hilfreich und notwendig, da daraus praktische Maßgaben und Regeln zur Lösung des Problems der Unterrichtsstundenverteilung abgeleitet werden könnten, um somit die Struktur und Komplexität des nachfolgenden Problems der Unterrichtsstundenzuordnung einfacher zu gestalten.

Die vorangegangene Diskussion der Dekompositionsstrategien für das Gesamtproblem und das Problem der Unterrichtsstundenzuordnung lässt im Prinzip nur einen Schluss zu. Im Idealfall sollte ein Problem der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen nicht zerlegt werden. Es besteht die Gefahr, dass die Struktur einzelner Teilmodelle so komplex ist, dass kein akzeptabler Stundenplan ermittelt werden kann.

Momentan lässt es die vorhandene Technologie aber noch nicht zu, dass mit Hilfe solcher ganzheitlichen Ansätze für reale Stundenplanprobleme in vertretbarer Rechenzeit akzeptable Lösungen erzeugt werden können. Es ist auch nicht absehbar, ob und wann die Technologie dazu in der Lage sein wird.

Obwohl die Dekompositionsstrategien ein gewisses Gefahrenpotential besitzen, ist es dennoch möglich, mit ihrer Hilfe für fast alle untersuchten fiktiven

Schulen akzeptable und teilweise auch fast optimale Stundenpläne zu erstellen. Dabei wird auch die Leistungsfähigkeit des in Cplex implementierten exakten Branch-and-Bound-Verfahrens unter Beweis gestellt, da die jeweiligen Teilmodelle in vertretbarer Zeit gelöst werden konnten.

Daher kann ein positives Fazit der Untersuchung der numerischen Ergebnisse der Testinstanzen gezogen werden.



---

## Kapitel 6

# Betriebswirtschaftliche Bewertung und Ausblick

---

In dieser Arbeit wurde ein Ansatz zur Lösung des Problems der Erstellung von Stundenplänen an allgemeinbildenden Schulen vorgestellt. Er ermöglicht eine präzise Modellierung eines Stundenplanproblems, da er aufgrund der sehr allgemeinen Formulierung flexibel den spezifischen Gegebenheiten angepasst werden kann. Zudem erlaubt dessen offene Gestaltung die Integration neuer Planungsaspekte. Daher füllt der Ansatz eine Lücke in der Forschung, denn bisherige Lösungsansätze zu diesem oder einem verwandten Problem setzen den Möglichkeiten zur Modellierung zum Teil sehr enge Grenzen. Sie können daher nur eingeschränkt die Charakteristika allgemeinbildender Schulen und damit das jeweilige Stundenplanproblem erfassen.

Eine weitere Lücke in der Forschung wird durch die Weiterentwicklung der hierarchischen Dekompositionsstrategie geschlossen. Dadurch können zwischen den Tagesmodellen bestehende Abhängigkeiten berücksichtigt werden.

Zur Erprobung des Lösungsansatzes wurden fiktive Stundenplanprobleme entworfen. Diese bilden nicht nur die zwingend erforderlichen rechtlichen Vorgaben ab, sondern auch weniger wichtige Anforderungen von Lehrern und Schülern an einen Stundenplan. Da zudem die modellierten allgemeinbildenden Schulen offiziellen Statistiken zufolge überdurchschnittlich groß sind, können die Testinstanzen als realistisch betrachtet werden.

Die Modelle einer Testinstanz wurden mit einem exakten Branch-and-Bound-Verfahren auf Basis der gemischt-ganzzahligen Programmierung gelöst, das in der Standard-Optimierungssoftware Cplex implementiert ist. Dieses Verfahren erwies sich als äußerst effizient. Es ermöglichte fast immer das Auffinden eines akzeptablen Stundenplans in einer vertretbaren Rechenzeit.

Dies verdeutlicht das enorme Potential der exakten mathematischen Verfahren und lässt die Sinnhaftigkeit der Weiterentwicklung von Metaheuristiken zur Lösung des Problems zumindest fraglich erscheinen. Denn jede neue Prozessorgeneration und jede neue Version einer Standard-Optimierungssoftware beschleunigen nicht nur die Erstellung eines Stundenplans, sondern gestatten es auch, dass immer größere und umfassendere Probleme modelliert und gelöst werden können.

Dadurch kann die Effizienz des gesamten Planungsprozess nachhaltig gesteigert werden, weil der hierfür erforderliche Arbeitsaufwand der Planer deutlich verringert wird. Da in der Regel Lehrer die Aufgabe der Stundenplanerstellung übernehmen, steht ihnen deshalb wieder mehr Zeit zur Ausübung ihres eigentlichen Berufs zur Verfügung.

Zusammenfassend kann daher ein positives Fazit aus dieser Arbeit gezogen werden. Es ist demnach möglich, durch einen offenen und flexiblen Ansatz für realistische Probleme der Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen unter Verwendung von exakten mathematischen Verfahren akzeptable Lösungen in einer vertretbaren Rechenzeit ermitteln.

Die verwendete hierarchische Dekompositionsstrategie ist allerdings kritisch zu betrachten. Sie stellt einerseits zwar eine echte Weiterentwicklung dar und erweist sich als sehr leistungsfähig. Andererseits offenbart sie Schwächen, da durch die Lösung eines Wochenmodells die Komplexität der Tagesmodelle kaum beeinflusst werden kann. Das kann dazu führen, dass ein einzelnes Tagesmodell in vertretbarer Zeit kaum zu lösen ist, während die übrigen Tagesmodelle für den Solver kein großes Problem darstellen. Die Folge davon ist, dass kein akzeptabler Stundenplan erstellt werden kann, obwohl dieser vielleicht bei einer gleichmäßigeren „Verteilung der Komplexität“ auf die Tagesmodelle möglich gewesen wäre.

Es stellt sich daher die Frage, ob es generell möglich ist, die Lösung des Wochenmodells so zu beeinflussen, dass für die nachfolgenden Tagesmodelle leicht akzeptable Ergebnisse ermittelt werden können.

Dies ist nicht die einzige Frage, die vorerst offen bleiben muss:

- Die Stundenplanprobleme wurden zwar nach realen rechtlichen Vorgaben und offiziellen Statistiken gestaltet, aber dennoch sind sie fiktiv. Daher sollte die Praxistauglichkeit dieses Lösungsansatzes anhand realer Daten überprüft werden.
- Ein Stundenplan wird vor jedem Halbjahr neu erstellt. Allerdings muss er unterjährig immer wieder angepasst werden, weil zum Beispiel ein Lehrer für eine längere Zeitspanne erkrankt ist. Dieser Ausfall ist zu kompensieren, ohne dass ein völlig neuer Stundenplan erstellt werden kann. Dieses Problem wird dem Wissen des Autors nach in der Literatur nicht beschrieben, so dass

hier eine Lücke zu dieser äußerst praxisrelevanten Fragestellung existiert.

- Solver wie Cplex<sup>188</sup> und Modellierungssprachen wie GAMS<sup>189</sup> sind hervorragende Werkzeuge bei der Erstellung von Stundenplänen. Allerdings sind sie auch sehr teuer und dürften das Budget einer Schule deutlich übersteigen. Es müsste daher herausgefunden werden, inwieweit sie durch Open-Source-Technologien wie bspw. COIN<sup>190</sup> und FlopC++<sup>191</sup> ersetzt werden können.
- Eine Untersuchung des Einflusses der Unterrichtsstundenverteilung auf die Unterrichtsstundenzuordnung ist bisher im Hinblick auf allgemeinbildende Schulen noch nicht erfolgt. Diese wäre sehr hilfreich, da daraus Maßgaben zur Lösung des vorgelagerten Problems abgeleitet werden könnten, um dadurch die Komplexität des nachgelagerten zu verringern.

Abschließend ist anzumerken, dass dieser Lösungsansatz als eine Art Zwischenschritt eines Entwicklungsprozesses zu verstehen ist. Das Ziel sollte mittelfristig sein, die Unterrichtsstundenzuordnung als Totalmodell abzubilden. Langfristig muss dieses Teilproblem zudem mit der Unterrichtsstundenverteilung vereint werden. Erst wenn dann reale Stundenplanprobleme an allgemeinbildenden Schulen in vertretbarer Rechenzeit optimal gelöst werden können, kann dieser Entwicklungsprozess als abgeschlossen betrachtet werden.

In Anbetracht der momentanen Leistungsfähigkeit der Prozessoren und Standard-Optimierungssoftware ist dies aber noch ein weiter Weg. Bis dahin stellt der in dieser Arbeit vorgestellte Lösungsansatz einen Schritt in die vorläufig erfolgversprechendste Richtung dar. Diese weist weg von den heuristischen Verfahren und beschränkten Möglichkeiten zur Modellierung von Stundenplanproblemen und führt hin zu den exakten Lösungsalgorithmen und offenen und flexiblen Modellierungsansätzen.

---

<sup>188</sup> Vgl. Suhl und Mellouli (2006, S. 78).

<sup>189</sup> Vgl. McCarl (2008).

<sup>190</sup> Vgl. Forrest und Lougee-Heimer (2005).

<sup>191</sup> Vgl. Hultberg (2007).



---

## Literaturverzeichnis

---

- Abramson, D. (1991): Constructing School Timetables Using Simulated Annealing: Sequential and Parallel Algorithms. In: Management Science. Bd. 37, S. S. 98–113.
- Alvarez-Valdes, R.; Crespo, E. und Tamarit, J.M. (2002a): Design and implementation of a course scheduling system using Tabu Search. In: European Journal of Operational Research. Bd. 137, Nr. 3, S. S. 512–523.
- Alvarez-Valdes, R.; Parreno, F. und Tamarit, J.M. (2002b): A tabu search algorithm for assigning teachers to courses. In: TOP. Bd. 10, Nr. 2, S. S. 239–259.
- Arai, S. (2005): Stundenplan-Optimierung: Modelle und Software. Diplomarbeit. TU Darmstadt.
- Arntzen, H. und Lokketangen, A. (2005): A Tabu Search Heuristic for a University Timetabling Problem. In: Metaheuristics: Progress as Real Problem Solvers. Springer Verlag, Berlin u.a., S. 65–85.
- Asendorpf, D. (2000): Ja, mach nur einen Stundenplan. [http://www.zeit.de/2000/48/200048\\_c\\_zp-stundenplan.xml](http://www.zeit.de/2000/48/200048_c_zp-stundenplan.xml), Letzter Abruf: 06.01.2009, 12:48 Uhr.
- Avella, P. und Vasil'ev, I. (2005): A Computational Study of a Cutting Plane Algorithm for University Course Timetabling. In: Journal of Scheduling. Bd. 8, Nr. 6, S. S. 497–514.
- Badri, M.A.; Davis, D.L.; Davis, D.F. und Hollingsworth, J. (1998): A multi-objective course scheduling model: Combining faculty preferences for courses and times. In: Computers & Operations Research. Bd. 25, Nr. 4, S. S. 303–316.
- Birbas, T.; Daskalaki, S. und Housos, E. (1997): Timetabling for Greek High Schools. In: The Journal of the Operational Research Society. Bd. 48, Nr. 12, S. 1191–1200.

- Birbas, T.; Daskalaki, S. und Housos, E. (2008): School timetabling for quality student and teacher schedules. In: *Journal of Scheduling*. In: DOI: 10.1007/s10951-008-0088-2, S. 1-22.
- Brandt, C. (2003): Konzeption und Entwicklung eines Frameworks für Stundenplan-Portale. Diplomarbeit. Fachhochschule Giessen-Friedberg.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2005): Grund- und Strukturdaten 2005. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (2008): Grund- und Strukturdaten 2007/2008. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin.
- Burke, E. und Petrovic, S. (2002): Recent Research Directions in Automated Timetabling. In: *European Journal of Operational Research*. Bd. 140, Nr. 2, S. S. 266–280.
- Burke, E.; Maracek, J. und Parkes, A. (2008): Decomposition, Reformulation, and Diving in University Course Timetabling. <http://www.cs.nott.ac.uk/~jxm/timetabling/tr2008.pdf>, Letzter Abruf: 06.01.2009, 14:07 Uhr.
- Burke, E.; Petrovic, S. und Qu, R. (2006): Case-based heuristic selection for timetabling problems. In: *Journal of Scheduling*. Bd. 9, Nr. 2, S. S. 115–132.
- Burke, E.K.; McCollum, B.; Meisels, A.; Petrovic, S. und Qu, R. (2007): A graph-based hyper-heuristic for educational timetabling problems. In: *European Journal of Operational Research*. Bd. 176, Nr. 1, S. 177 – 192.
- Carrasco, M.P. und Pato, M.V. (2001): A Multiobjective Genetic Algorithm for the Class/Teacher Timetabling Problem. In: *PATAT '00: Selected papers from the Third International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling III*. Springer Verlag, Berlin u.a., S. 3–17.
- Chiarandini, M.; Birattari, M.; Socha, K. und Rossi-Doria, O. (2006): An effective hybrid algorithm for university course timetabling. In: *Journal of Scheduling*. Bd. 9, Nr. 5, S. S. 403–432.
- Colorni, A.; Dorigo, M. und Maniezzo, V. (1998): Metaheuristics for High School Timetabling. In: *Computational Optimization and Applications*. Bd. 9, Nr. 3, S. S. 275–298.
- Costa, D. (1994): A tabu search algorithm for computing an operational timetable. In: *European Journal of Operational Research*. Bd. 76, Nr. 1, S. S. 98–110.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Daskalaki, S. und Birbas, T. (2005): Efficient solutions for a university timetabling problem through integer programming. In: *European Journal of Operational Research*. Bd. 160, Nr. 1, S. S. 106–120.
- Daskalaki, S.; Birbas, T. und Housos, E. (2004): An integer programming formulation for a case study in university timetabling. In: *European Journal of Operational Research*. Bd. 153, Nr. 1, S. S. 117–135.
- Deris, S.; Omatu, S. und Ohta, H. (2000): Timetable planning using the constraint-based reasoning. In: *Computers & Operations Research*. Bd. 27, Nr. 9, S. S. 819–840.
- DiGaspero, L. und Schaerf, A. (2006): Neighborhood Portfolio Approach for Local Search Applied to Timetabling Problems. In: *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*. Bd. 5, Nr. 1, S. S. 65–89.
- Dimopoulou, M. und Miliotis, P. (2001): Implementation of a university course and examination timetabling system. In: *European Journal of Operational Research*. Bd. 130, Nr. 1, S. S. 202–213.
- Domschke, W. und Drexl, A. (2005): *Einführung in Operations Research*. Springer Verlag, Berlin u.a.
- Drexl, A. und Salewski, F. (1997): Distribution requirements and compactness constraints in school timetabling. In: *European Journal of Operational Research*. Bd. 102, Nr. 1, S. S. 193–214.
- Ebersbach, A.; Glaser, M. und Kubani, R. (2006): *Joomla!*. Galileo Computing, Bonn.
- Forrest, J. und Lougee-Heimer, R. (2005): *CBC User Guide*. <http://www.coin-or.org/Cbc/index.html>, Letzter Abruf: 06.01.2009, 14:02 Uhr.
- Gottlieb, C.C. (1963): The Construction of Class-Teacher-Timetables. In: *Proceedings of the IFIP Congress 62*. Popplewell, S. 73–77.
- Haase, K.; Scheel, H. und Sebastian, D. (2004): Hörsaalmanagement. Modell, Verfahren und Internetanwendung zur effizienten Vorlesungsplanerstellung. In: *Wirtschaftsinformatik*. Bd. 46, Nr. 2, S. S. 87–95.
- Hilbert-Siekman, H. (2001): *Zur Stundenplansetzung an allgemeinbildenden Schulen*. Dissertation. Freie Universität Berlin.
- Hultberg, T.H. und Cardoso, D.M. (1997): The teacher assignment problem: A special case of the fixed charge transportation problem. In: *European Journal of Operational Research*. Bd. 101, Nr. 3, S. S. 463–473.

- Hultberg, T.H. (2007): A presentation of FlopC++. <https://projects.coin-or.org/FlopC++/attachment/wiki/WikiStart/slides.pdf.gz>,  
 Letzter Abruf: 06.01.2009, 15:03 Uhr.
- Junginger, W. (1972): Zurückführung des Stundenplanproblems auf ein dreidimensionales Transportproblem. In: Zeitschrift für Operations Research. Bd. 16, S. S. 11–25.
- Junginger, W. (1986): Timetabling in Germany - A Survey. In: Interfaces. Bd. 16, Nr. 4, S. S. 66–74.
- Lach, G. und Lübbecke, M. (2008): Optimal University Course Timetables and the Partial Transversal Polytope. In: Experimental Algorithms. Springer Verlag, Berlin u.a., S. 235–248.
- Lange, K. (2005): Entscheidungsmodelle des Operations Research für die Stundenplangestaltung im universitären Bereich. Diplomarbeit. Universität Hannover.
- Lawrie, N.L. (1969): An Integer Linear Programming Model of a School Timetabling Problem. In: The Computer Journal. Bd. 12, S. S. 307–316.
- Legierski, W. (2003): Search Strategy for Constraint-Based Class-Teacher Timetabling. In: Practice and Theory of Automated Timetabling IV. Springer Verlag, Berlin u.a., S. 247–261.
- Lewis, R. (2008): A survey of metaheuristic-based techniques for University Timetabling problems. In: OR Spectrum. Bd. 30, Nr. 1, S. S. 167–190.
- Lindo (2007): Lindo API. [http://www.lindo.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=37&Itemid=22](http://www.lindo.com/index.php?option=com_content&view=article&id=37&Itemid=22), Letzter Abruf: 07.10.2008, 12:11 Uhr.
- Martin, C.H. (2004): Ohio University's College of Business Uses Integer Programming to Schedule Classes. In: Interfaces. Bd. 34, Nr. 6, S. S. 460–465.
- McCarl, B. (2008): Expanded GAMS Guide. <http://www.gams.com/dd/docs/bigdocs/gams2002/mccarlgamsuserguide.pdf>, Letzter Abruf: 20.01.2009, 14:11 Uhr.
- McClure, R.H. und Wells, C.E. (1987): Modeling multiple criteria in the faculty assignment problem. In: Socio-Economic Planning Sciences. Bd. 21, Nr. 6, S. S. 389–394.
- McCollum, B. (2007): A Perspective on Bridging the Gap Between Theory and Practice in University Timetabling. In: Practice and Theory of Automated Timetabling VI. Springer Verlag, Berlin u.a., S. 3–23.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Neugebauer, U. (2007): Evaluation zur Einführung der Lehrer-räume. [www.ass-solingen.de/content/1007/data/Evaluation\\_Lehrerraumprinzip.pdf](http://www.ass-solingen.de/content/1007/data/Evaluation_Lehrerraumprinzip.pdf), Letzter Abruf: 06.01.2009, 15:05 Uhr.
- Ostermann, R. und de Werra, D. (1982): Some experiments with a timetabling system. In: OR Spectrum. Bd. 3, Nr. 4, S. S. 199–204.
- Petrovic, S. und Burke, E. (2004): University Timetabling. In: Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis. Chapman Hall/CRC Press, S. 1–17.
- Pilger, F. (2003): Stundenplangenerierung an einer Grundschule mittels Ganzzahliger Programmierung und Constraint-Programming. Diplomarbeit. TU Darmstadt.
- Qu, R.; Burke, E.; McCollum, B.; Merlot, L.T.G. und Lee, S.Y. (2009): A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling. In: Journal of Scheduling. Bd. 12, Nr. 1, S. 55–89.
- Qualizza, A. und Serafini, P. (2005): A column generation scheme for faculty timetabling. In: PATAT 2004. Springer Verlag, Berlin u.a., S. 161–173.
- Reibold, H. (2005): XAMPP kompakt. Bomots Verlag.
- Rolle, J.; Kesberg, E.; Matheis, I.; Schiersmann, J.; Eschment, U.A. und Hospelt, W. (2007): Partner machen Schule - Bildung gemeinsam gestalten. Sozialpädagogisches Institut (SPI) NRW, Köln.
- Santos, H.G.; Ochi, L.S. und Souza, M.J. (2005): A Tabu search heuristic with efficient diversification strategies for the class/teacher timetabling problem. In: Journal of Experimental Algorithmics. Bd. 10, S. S. 2–9.
- Schaerf, A. (1999a): A Survey of Automated Timetabling. In: Artificial Intelligence Review. Bd. 13, Nr. 2, S. S. 87–127.
- Schaerf, A. (1999b): Local Search Techniques for Large High School Timetabling Problems. In: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Bd. 29, Nr. 4, S. S. 368–377.
- Schimmelpfeng, K. und Helber, S. (2007): Application of a real-world university-course timetabling model solved by integer programming. In: OR Spectrum. Bd. 29, Nr. 4, S. S. 783–803.
- Schulministerium NRW (2008a): Schulgesetz NRW. Schulministerium NRW, [https://www.abituronline.nrw.de/BP/Schulrecht/Gesetze/SchulG\\_Info/Schulgesetz.pdf](https://www.abituronline.nrw.de/BP/Schulrecht/Gesetze/SchulG_Info/Schulgesetz.pdf), Letzter Abruf: 21.01.2009, 14:07 Uhr.

- Schulministerium NRW (2008b): Verordnung über die Ausbildung und die Abschlussprüfungen in der Sekundarstufe I. Schulministerium NRW, [https://www.abituronline.nrw.de/BP/Schulrecht/AP0en/AP0\\_SI-07-08.pdf](https://www.abituronline.nrw.de/BP/Schulrecht/AP0en/AP0_SI-07-08.pdf),  
 Letzter Abruf: 21.01.2009, 14:09 Uhr.
- Schulministerium NRW (2008c): Verordnung über die Ausbildung und die Abschlussprüfungen in der Sekundarstufe II. Schulministerium NRW, <https://www.abituronline.nrw.de/BP/Schulrecht/AP0en/AP0G0St.pdf>,  
 Letzter Abruf: 21.01.2009, 14:09 Uhr.
- Socha, K.; Knowles, J. und Sampels, M. (2002): A MAX-MIN Ant System for the University Course Timetabling Problem. In: Ant Algorithms. Springer Verlag, Berlin u.a., S. 63–77.
- Statistisches Bundesamt (2008): Bildung und Kultur, Fachserie 11, Reihe 1. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- Stobernack, M. und Palamidis, H. (2007): Erfolgreiche Schulen - Erklärung von Schulleistungsunterschieden bei den Abschlussprüfungen am Ende der zehnten Klasse im Land Brandenburg. In: Arbeitsmarkt- und Sozialpolitikforschung im Wandel - Festschrift für Christof Helberger zum 65. Geburtstag. Verlag Dr. Kovac, Hamburg, S. 161–173.
- Suhl, L. und Mellouli, T. (2006): Optimierungssysteme. Springer Verlag, Berlin u.a.
- Tillett, P.I. (1975): An operations research approach to the assignment of teachers to courses. In: Socio-Economic Planning Sciences. Bd. 9, Nr. 3-4, S. S. 101–104.
- Tripathy, A. (1980): A Lagrangian Relaxation Approach to Course Timetabling. In: Journal of the Operations Research Society. Bd. 31, S. S. 599–603.
- Tripathy, A. (1984): School Timetabling - A Case in Large Binary Integer Linear Programming. In: Management Science. Bd. 30, S. S. 1473–1489.
- Valouxis, C. und Housos, E. (2003): Constraint programming approach for school timetabling. In: Computers & Operations Research. Bd. 30, Nr. 10, S. S. 1555–1572.
- Yu, E. und Sung, K. (2002): A genetic algorithm for a university weekly courses timetabling problem. In: International Transactions in Operational Research. Bd. 9, Nr. 6, S. S. 703–717.
- Zehnder, C.A. (1965): Mathematische Untersuchung zur Berechnung von Stundenplänen und Transportfahrplänen. Dissertation. ETH Zürich.

## LITERATURVERZEICHNIS

Zervoudakis, K. und Stamatopoulos, P. (2001): A Generic Object-Oriented Constraint-Based Model for University Course Timetabling. In: Practice and Theory of Automated Timetabling III, Third International Conference, PATAT 2000. Springer Verlag, Berlin u.a., S. 28-47.

ZI Soft (2007): Tabulex Handbuch 2007. [http://www.ziso-shop.de/product\\_info.php/info/p9\\_Tabulex--Demoversion--Download.html](http://www.ziso-shop.de/product_info.php/info/p9_Tabulex--Demoversion--Download.html), Letzter Abruf: 21.01.2009, 14:34 Uhr.



---

## Anhang A

### Ein Softwaretool zur automatisierten Erstellung von Stundenplänen

---

Im Rahmen der Arbeit zu dieser Dissertation wurde das sehr umfangreiche Softwaretool „hsm“ entwickelt. Dieses dient nicht nur der automatisierten Erstellung der Stundenpläne, sondern auch zur Erfassung, Verwaltung und Analyse der hierfür erforderlichen Daten. Es kann unter Windows, Linux, Mac oder Solaris installiert werden. Die hierfür zu absolvierenden Schritte werden im Folgenden erläutert.

- Zuerst muss ein Apache-Webserver installiert werden, auf dem die Programmiersprachen Perl und php, sowie mySQL-Datenbanken verfügbar sind. Es wird empfohlen, sich hierfür das Komplettpaket XAMPP<sup>192</sup> von der Webseite<sup>193</sup> des Projekts kostenfrei herunterzuladen. Dort finden sich auch umfangreiche Dokumentation zu dessen Installation.
- Das Softwaretool ist als ein Plug-In des Content Management Systems „Joomla!“<sup>194</sup> programmiert. Die aktuellste Version ist neben einer umfangreichen Dokumentation auf der Projekt-Webseite<sup>195</sup> verfügbar. Es ist allerdings darauf zu achten, dass das Plug-In für eine der Versionen 1.0.X optimiert wurde. Wenn es innerhalb einer der Versionen 1.5.X installiert wird, dann können Fehler auftreten.
- Bevor das Softwaretool „hsm“ installiert wird, wird es dringend empfohlen, vereinzelte Umgebungsvariablen zu ändern. In der Datei php.ini sollten die Werte der Variablen „max\_execution\_time“ und „memory\_limit“

---

<sup>192</sup> Vgl. Reibold (2005).

<sup>193</sup> Vgl. <http://www.apachefriends.de>.

<sup>194</sup> Vgl. Ebersbach et al. (2006).

<sup>195</sup> Vgl. <http://www.joomlaos.de>.

auf 3.600 bzw. 600 erhöht werden. Weiterhin sollten die Werte der Parameter „post\_max\_size“, „max\_upload\_size“ und „max\_input\_time“ auf 600 erhöht werden. In der Datei my.cnf sollte der Wert der Variable „max\_allowed\_packet“ nicht weniger als 320 betragen.

- Das Softwaretool „hsm“ wird in zwei Versionen angeboten, von denen nur eine gleichzeitig in einer Datenbank installiert sein kann. Diese Versionen unterscheiden sich nur dahingehend, dass „hsmResults“ sämtliche in dieser Dissertation untersuchten Testinstanzen und deren Ergebnisse umfasst. Dadurch erhöht sich allerdings der Festplattenbedarf um 200 MB im Vergleich zur Version „hsm“, die nur wenige KB beansprucht.
- Das Softwaretool ermöglicht auch ein umfangreiches Management der Rechte von Nutzern. Es wird daher empfohlen, die Komponente „hsm“ nur registrierten Nutzern zugänglich zu machen.
- Bei der Programmierung von „hsm“ wurde darauf geachtet, dass sämtliche Texte zur Kommunikation mit dem Nutzer leicht in andere Sprachen übersetzt werden können. Wenn eine andere Sprache als deutsch genutzt werden soll, dann sollte die Komponente „Joomfish“ installiert werden.

Wenn das Softwaretool erfolgreich installiert ist, dann kann es in Betrieb genommen werden. Hierzu ist allerdings noch Folgendes anzumerken.

- Zur Anwendung des Softwaretools wurden zahlreiche kleine und große Hilfetexte beschrieben, die im Programm jederzeit abgerufen werden können. Daher wird an dieser Stelle auf eine ausführliche Dokumentation der Software verzichtet. Der Code wurde nach den Vorgaben der Software „Doxygen“ dokumentiert. Dieses kann kostenfrei auf der Webseite des Projekts heruntergeladen werden.<sup>196</sup>
- Bevor allerdings tatsächlich mit den Arbeiten an einem ersten Stundenplan begonnen wird, sollten sämtliche Hilfetexte aufmerksam gelesen werden.
- Wenn alle erforderlichen Daten eingegeben worden sind, die für die Erstellung eines Stundenplans benötigt werden, dann kann von dem Webserver eine C++-Datei heruntergeladen werden. Diese kann mit einem beliebigen Compiler in eine ausführbare Datei verwandelt werden und muss nur noch gestartet werden. Die Berechnungen zu den Stundenplänen erfolgen mit GAMS<sup>197</sup> und Cplex<sup>198</sup>, die auf dem jeweiligen PC installiert sein müssen. Wenn die Berechnungen beendet sind, dann wird eine Textdatei erzeugt, die auf den

---

<sup>196</sup> Vgl. <http://www.doxygen.org>.

<sup>197</sup> Vgl. McCarl (2008).

<sup>198</sup> Vgl. Suhl und Mellouli (2006).

Webserver hochgeladen werden muss. Dadurch können die erstellten Stundenpläne schließlich dargestellt werden.

Obwohl diese Software mehrfach eingehend getestet wurde, ist nicht auszuschließen, dass weiterhin vereinzelt Fehler auftreten. Sachdienliche Hinweise können an die E-Mail-Adresse *C.Woellenstein@gmx.de* gerichtet werden.



---

## Anhang B

### Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

---

#### B.1 Überblick

In diesem Kapitel wird die Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“ ausführlich dargestellt. Dadurch soll es ermöglicht werden, dass diese Testinstanz auch in anderen Systemen implementiert werden kann. Dessen Modellierung, bspw. bezüglich der Gestaltung der Mengen, Parameter und Abbruchkriterien, wird in Abschnitt 5.1 bereits umfassend erläutert. Allerdings wurde zugunsten der Übersichtlichkeit darauf verzichtet, einige Parameter der Bezugsgruppentypen „Vollzeit-“, „Teilzeit-“ und „Stunden-Lehrer“ ausführlich zu beschreiben. Aus diesem Grund werden diese für die Testinstanz „6x6-02“ in Abschnitt B.3 vollständig dargestellt.

In Abschnitt B.4 erfolgt schließlich die Präsentation der besten gefundenen Lösung. Sie weist nur ein nicht vollständig erreichtes Ziel auf. Für die Bezugsgruppe mit der Bezeichnung „Lehrer 10 (Teilzeit)“ wurden fünf anstatt maximal vier Freistunden eingeplant.<sup>199</sup> Dies verursachte 15 Strafpunkte. Alle übrigen harten und weichen Restriktionen wurden vollständig erfüllt.

Ausführliche Statistiken über die Koeffizientenmatrizen können den Tabellen 5.15<sup>200</sup> und 5.16<sup>201</sup> entnommen werden.

---

<sup>199</sup> Vgl. Tabelle B.36, S. 208.

<sup>200</sup> Vgl. Tabelle 5.15, S. 155.

<sup>201</sup> Vgl. Tabelle 5.16, S. 158.

## B.2 Darstellung der in den Tabellen verwendeten Abkürzungen

Um eine übersichtliche Darstellung der Tabellen in den Abschnitten B.3 und B.4 zu ermöglichen, werden die Bezeichnungen Lehrer, Lehrveranstaltungen und Unterrichtsräume abgekürzt. Im Folgenden wird erläutert, wie diese Abkürzungen gestaltet werden.

Die Bezeichnungen der Lehrveranstaltungen setzen sich aus zwei Teilen zusammen. Der erste Teil beschreibt die Schulklasse, für die der Unterricht gehalten wird. Der zweite Teil stellt eine Abkürzung der Bezeichnung des jeweiligen Unterrichtsfachs dar, wie Tabelle B.1 entnommen werden kann.

**Tabelle B.1:** Abkürzungen der Bezeichnungen der Unterrichtsfächer

Bezeichnung	Abkürzung
BioChemie	BiC
Deutsch	Deu
Englisch	Eng
Erdkunde	Erd
Französisch	Frz
Informatik	Inf
Kunst	Kun
Latein	Lat
Mathematik	Mat
Musik	Mus
Physik	Phy
Religion (Evangelisch)	ReE
Religion (Katholisch)	ReK
Sozialwissenschaften	Soz
Sport (Jungen)	SpJ
Sport (Mädchen)	SpM

Jeder Unterrichtsraum kann einem bestimmten Raumtyp zugeordnet werden. Die Bezeichnung des Unterrichtsraums setzt sich zum einen aus der Abkürzung der Bezeichnung für den jeweiligen Raumtyp zusammen, die Tabelle B.2 entnommen werden kann. Zum anderen spezifiziert eine fortlaufende Nummer einen Unterrichtsraum.

So existieren bspw. drei Unterrichtsräume des Raumtyps „Kunst“. Diese wer-

den mit Ku01, Ku02 und Ku03 bezeichnet.

**Tabelle B.2:** Abkürzungen der Bezeichnungen der Raumtypen

Bezeichnung	Abkürzung
BioChemie	BC
Kunst	Ku
Musik	Mu
Normal	No
PC-Pool	PP
Physik	Ph
Sport	Sp

Die Abkürzungen der Bezeichnungen der Lehrer können Tabelle B.3 entnommen werden.

### B.3 Vollständige Darstellung ausgewählter Parameter der Bezugsgruppentypen „Vollzeit-“, „Teilzeit-“ und „Stunden-Lehrer“

In diesem Abschnitt werden die Parameter der Bezugsgruppentypen „Vollzeit-“, „Teilzeit-“ und „Stunden-Lehrer“ vollständig dargestellt, deren Werte zufällig gewählt wurden. Außerdem wird in Tabelle B.3 aufgelistet, welche Lehrveranstaltungen den Lehrern im Rahmen der Unterrichtsstundenverteilung zugeordnet worden sind.

**Tabelle B.3:** Gestaltung ausgewählter Parameter der Bezugsgruppen der Typen „Vollzeit-“, „Teilzeit-“ und „Stunden-Lehrer“

$b$	Abk.	$bB_0S_b$	$bB_iS_b$	$bB_{t_b}$	$bB_{rxt_b}$	$bB_{\alpha T_b}$	$B_{J_b}$
Lehrer 1 (Vollzeit)	V-1	1.165	1.165	105	445	-	5A-Inf, 5C-Phy, 6D-Inf, 7A-Phy, 7CD-SpJ, 9A-Phy, 9A-Inf, 9B-Phy, 9E-Phy, 9F-Phy, 10D-Phy, 10E-Inf
Lehrer 2 (Vollzeit)	V-2	1.165	10	3.050	10	-	5D-Mus, 5CD-SpJ, 6B-Mus, 6B-Inf, 6C-Inf, 7F-Mus, 7F-Inf, 8AB-SpJ, 9E-Inf, 9F-Mus, 10AB-SpJ

Fortsetzung der Tabelle „Gestaltung ausgewählter Parameter der Bezugsgruppen der Typen ‚Vollzeit-‘, ‚Teilzeit-‘ und ‚Stunden-Lehrer‘“

$b$	Abk.	$bB_{\alpha}S_b$	$bB_{\beta}S_b$	$bB_{\gamma}t_b$	$bB_{\gamma}r_{\alpha}b$	$bB_{\gamma}T_b$	$B_{J_b}$
Lehrer 3 (Vollzeit)	V-3	1.885	65	40	445	-	5AB-ReK, 6A-Kun, 6B-Kun, 6AB-SpJ, 6AB-ReK, 7CD-ReK, 7F-Kun, 9CD-SpJ, 9EF-SpJ, 10B-Kun, 10EF-ReK
Lehrer 4 (Vollzeit)	V-4	3.050	25	15	445	-	5B-Eng, 5C-Eng, 6A-Inf, 6F-Inf, 7C-Eng, 7D-Inf, 8E-Eng, 8F-Inf, 10A-Eng, 10C-Eng
Lehrer 5 (Vollzeit)	V-5	1.885	25	40	40	-	5A-Mat, 5F-Phy, 6B-Soz, 6D-Phy, 6E-Soz, 8A-Soz, 9C-Mat, 9D-Mat, 10C-Mat, 10D-Mat
Lehrer 6 (Vollzeit)	V-6	1.165	40	25	170	-	6B-Deu, 6CD-Frz, 6E-Deu, 7CD-Frz, 7EF-ReK, 8CD-Frz, 10A-Deu, 10C-Deu, 10CD-Frz
Lehrer 7 (Vollzeit)	V-7	3.050	40	105	15	-	5B-Deu, 5C-Kun, 5C-Inf, 5D-Deu, 5E-Deu, 7D-Deu, 8D-Kun, 10C-Kun, 10D-Deu, 10F-Kun
Lehrer 8 (Vollzeit)	V-8	1.165	3.050	65	10	-	5A-Soz, 5D-Erd, 5E-Soz, 5F-Soz, 7D-Erd, 7E-Soz, 8C-Erd, 8F-Soz, 8F-Erd, 9C-Soz, 10E-Soz, 10F-Soz
Lehrer 9 (Vollzeit)	V-9	1.165	1.885	1.165	15	-	5A-Erd, 5E-Inf, 5F-Erd, 7A-Erd, 7E-Erd, 7E-Inf, 7F-Soz, 9B-Erd, 9E-Erd, 10A-Erd, 10C-Erd, 10F-Inf
Lehrer 10 (Vollzeit)	V-10	1.885	25	1.885	40	-	5F-Inf, 6F-Kun, 7D-Kun, 7E-Deu, 8A-Deu, 8F-Kun, 9A-Kun, 9C-Inf, 9F-Deu, 10E-Deu
Lehrer 11 (Vollzeit)	V-11	1.885	10	1.885	25	-	5B-Soz, 5D-Soz, 6F-Soz, 7AB-SpJ, 7EF-SpJ, 8AB-SpM, 9B-Deu, 9EF-SpM, 10EF-SpJ
Lehrer 12 (Vollzeit)	V-12	1.165	3.050	720	65	-	5E-Mus, 6D-Eng, 7D-Eng, 7E-Mus, 8B-Eng, 8D-Inf, 9C-Mus, 9D-Eng, 9F-Inf, 10F-Mus
Lehrer 13 (Vollzeit)	V-13	3.050	3.050	65	170	-	5B-Erd, 6B-Eng, 6D-Erd, 7E-Eng, 7F-Eng, 8D-Eng, 9A-Eng, 9D-Erd, 9E-Eng, 10E-Erd
Lehrer 14 (Vollzeit)	V-14	1.165	445	1.165	275	-	5A-Kun, 5D-Kun, 5F-Kun, 6B-Erd, 6E-Erd, 7C-Erd, 8B-Kun, 8E-Erd, 9C-Erd, 9F-Kun, 10B-Erd, 10E-Kun
Lehrer 15 (Vollzeit)	V-15	1.165	40	105	15	-	5A-Deu, 5A-BiC, 5F-Deu, 6C-BiC, 6D-Deu, 6D-BiC, 7A-Deu, 9B-BiC, 9E-BiC, 10A-BiC

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

Fortsetzung der Tabelle „Gestaltung ausgewählter Parameter der Bezugsgruppen der Typen ‚Vollzeit-‘, ‚Teilzeit-‘ und ‚Stunden-Lehrer‘“

$b$	Abk.	$bBxS_b$	$bBiS_b$	$bBtb_b$	$bBrxb_b$	$bBxT_b$	$B_jb$
Lehrer 16 (Vollzeit)	V-16	1.885	5	25	40	-	6D-Mus, 7A-Mat, 7A-Kun, 7C-Mus, 7C-Kun, 7D-Mus, 8E-Mat, 9A-Mat, 9C-Kun, 9E-Kun, 10E-Mus
Lehrer 17 (Vollzeit)	V-17	1.165	1.165	15	65	-	5AB-Frz, 6D-Soz, 7A-Mus, 7B-Mus, 7EF-Frz, 8C-Mus, 9A-Mus, 9B-Soz, 9D-Mus, 9F-Soz, 10EF-Frz
Lehrer 18 (Vollzeit)	V-18	3.050	5	1.885	170	-	5A-Mus, 5B-Mus, 5F-Mus, 6A-Mus, 6EF-SpJ, 7A-Soz, 7C-Soz, 8B-Soz, 8CD-SpJ, 9A-Soz, 10D-Soz
Lehrer 19 (Vollzeit)	V-19	1.165	40	65	105	-	5B-Inf, 5D-Phy, 6F-BiC, 6F-Phy, 7C-Phy, 8A-BiC, 8A-Inf, 8B-Phy, 8F-BiC, 9F-BiC, 10A-Inf, 10C-Phy
Lehrer 20 (Vollzeit)	V-20	1.885	445	445	40	-	5D-Mat, 5E-Mat, 5E-Erd, 5F-Mat, 6A-Mat, 6C-Mat, 6F-Erd, 7D-Soz, 8F-Mat, 9D-Soz
Lehrer 21 (Vollzeit)	V-21	1.885	15	170	25	-	6A-Eng, 6C-Eng, 6CD-Lat, 6F-Mus, 8C-Eng, 8E-Mus, 9E-Mus, 10A-Mus, 10E-Eng, 10F-Eng
Lehrer 22 (Vollzeit)	V-22	1.165	3.050	720	10	-	5B-Mat, 6B-Mat, 6B-BiC, 6E-Mat, 6EF-ReK, 7B-BiC, 7C-BiC, 8C-Mat, 8E-BiC, 9C-BiC
Lehrer 23 (Vollzeit)	V-23	1.885	65	720	105	-	5C-Mat, 5F-BiC, 6E-BiC, 7A-BiC, 7F-Mat, 7F-BiC, 8C-BiC, 8D-BiC, 10B-Mus, 10B-BiC, 10C-Mus
Lehrer 1 (Teilzeit)	T-1	1.165	-	1.885	5	65	5C-Mus, 6C-Soz, 6D-Mat, 8B-Mus, 10A-Mat, 10E-Mat
Lehrer 2 (Teilzeit)	T-2	1.885	-	445	65	5	5CD-Frz, 6EF-Frz, 7E-BiC, 8C-Inf, 8E-Inf, 9EF-Frz
Lehrer 3 (Teilzeit)	T-3	3.050	-	720	170	10	5A-Phy, 5AB-SpJ, 5CD-SpM, 5EF-SpJ, 6A-Phy, 9AB-SpJ
Lehrer 4 (Teilzeit)	T-4	1.165	-	15	275	1.165	5CD-ReK, 6AB-Frz, 7AB-Frz, 9CD-Frz, 9CD-ReK, 10CD-ReK
Lehrer 5 (Teilzeit)	T-5	3.050	-	170	105	1.165	5A-Eng, 5EF-Lat, 6E-Eng, 7AB-Lat, 10AB-Lat
Lehrer 6 (Teilzeit)	T-6	1.165	-	445	170	445	5B-Phy, 5AB-ReE, 7C-Inf, 8E-Phy, 9D-Phy, 9CD-ReE, 10B-Phy, 10D-Inf
Lehrer 7 (Teilzeit)	T-7	3.050	-	445	25	1.885	5E-Kun, 5EF-ReK, 6CD-ReK, 6E-Kun, 7B-Kun, 9AB-ReK, 9D-Kun, 9EF-ReK

Fortsetzung der Tabelle „Gestaltung ausgewählter Parameter der Bezugsgruppen der Typen ‚Vollzeit-‘, ‚Teilzeit-‘ und ‚Stunden-Lehrer‘“

$b$	Abk.	$bB_{\alpha}S_b$	$bB_{\beta}S_b$	$bB_{\gamma}t_b$	$bB_{\delta}r_{\alpha}b$	$bB_{\delta}T_b$	$B_{J_b}$
Lehrer 8 (Teilzeit)	T-8	1.885	-	1.885	275	720	7B-Deu, 7E-Phy, 7F-Deu, 8AB-ReK, 10A-Phy, 10AB-ReK, 10CD-ReE
Lehrer 9 (Teilzeit)	T-9	1.885	-	105	65	1.165	5C-Deu, 5EF-ReE, 6CD-ReE, 6F-Deu, 8A-Kun, 8E-Deu
Lehrer 10 (Teilzeit)	T-10	1.885	-	15	445	1.885	5AB-Lat, 5C-Erd, 8B-Erd, 8AB-Lat, 8CD-Lat, 10D-Erd
Lehrer 11 (Teilzeit)	T-11	1.165	-	40	445	40	6F-Mat, 8D-Mat, 8CD-SpM, 9D-BiC, 10AB-SpM, 10EF-SpM
Lehrer 12 (Teilzeit)	T-12	3.050	-	65	15	105	5D-Eng, 7A-Eng, 7C-Deu, 8A-Erd, 8D-Deu, 10B-Deu
Lehrer 13 (Teilzeit)	T-13	1.885	-	170	105	170	6AB-ReE, 6C-Erd, 6E-Mus, 7F-Erd, 8D-Mus, 8D-Erd, 9A-Erd, 10EF-ReE
Lehrer 14 (Teilzeit)	T-14	1.885	-	1.885	25	40	5C-BiC, 5D-BiC, 6D-Kun, 7D-BiC, 8C-Deu, 10C-BiC, 10D-BiC
Lehrer 15 (Teilzeit)	T-15	1.885	-	105	15	105	7E-Kun, 8C-Kun, 8E-Kun, 9E-Soz, 10A-Kun, 10A-Soz, 10C-Soz, 10D-Kun
Lehrer 16 (Teilzeit)	T-16	3.050	-	40	275	3.050	7AB-ReK, 7CD-ReE, 9AB-Lat, 9AB-ReE, 9C-Eng, 10D-Eng
Lehrer 17 (Teilzeit)	T-17	1.165	-	25	170	40	5D-Inf, 6C-Deu, 6E-Inf, 8B-Inf, 8F-Deu, 9D-Inf, 10F-Deu
Lehrer 18 (Teilzeit)	T-18	1.885	-	65	15	25	6EF-ReE, 7D-Mat, 8B-Mat, 8EF-ReK, 9B-Mat, 9E-Mat
Lehrer 19 (Teilzeit)	T-19	3.050	-	445	25	720	5E-Phy, 7EF-Lat, 8D-Phy, 9C-Phy, 10D-Mus, 10E-Phy, 10EF-Lat
Lehrer 20 (Teilzeit)	T-20	3.050	-	65	445	40	5AB-SpM, 6EF-SpM, 7B-Soz, 7AB-SpM, 7EF-SpM, 10B-Soz
Lehrer 21 (Teilzeit)	T-21	3.050	-	1.165	10	65	5C-Soz, 6B-Phy, 6C-Mus, 6E-Phy, 7B-Phy, 8C-Phy, 8D-Soz, 10F-Phy
Lehrer 22 (Teilzeit)	T-22	3.050	-	1.885	170	1.885	6EF-Lat, 7B-Erd, 8EF-Lat, 9D-Deu, 10CD-Lat, 10F-Erd
Lehrer 23 (Teilzeit)	T-23	3.050	-	25	10	3.050	5B-Kun, 7AB-ReE, 7D-Phy, 7F-Phy, 8EF-ReE, 9B-Kun, 9EF-ReE, 10AB-ReE
Lehrer 24 (Teilzeit)	T-24	1.885	-	1.885	40	1.165	6C-Phy, 7CD-SpM, 8F-Phy, 8EF-SpJ, 9AB-SpM, 9C-Deu
Lehrer 25 (Teilzeit)	T-25	1.165	-	5	10	720	5CD-ReE, 6A-Erd, 7EF-ReE, 8AB-ReE, 8CD-ReK, 9F-Erd

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

Fortsetzung der Tabelle „Gestaltung ausgewählter Parameter der Bezugsgruppen der Typen ‚Vollzeit-‘, ‚Teilzeit-‘ und ‚Stunden-Lehrer‘“

$b$	Abk.	$bBxS_b$	$bBiS_b$	$bBt_b$	$bBrx_b$	$bBxT_b$	$BJ_b$
Lehrer 26 (Teilzeit)	T-26	3.050	-	170	445	1.165	5B-BiC, 5E-BiC, 6A-Soz, 6A-BiC, 8B-BiC, 9A-BiC, 10E-BiC, 10F-BiC
Lehrer 27 (Teilzeit)	T-27	1.885	-	1.165	105	40	6AB-SpM, 6CD-SpJ, 7B-Mat, 7E-Mat, 9F-Mat
Lehrer 28 (Teilzeit)	T-28	3.050	-	720	65	3.050	5CD-Lat, 6AB-Lat, 7CD-Lat, 8B-Deu, 9EF-Lat
Lehrer 29 (Teilzeit)	T-29	1.885	-	65	445	445	5EF-SpM, 6CD-SpM, 8CD-ReE, 9CD-SpM, 9CD-Lat, 10CD-SpJ
Lehrer 30 (Teilzeit)	T-30	1.165	-	15	40	445	6A-Deu, 8A-Eng, 9A-Deu, 9B-Eng, 10B-Eng
Lehrer 31 (Teilzeit)	T-31	3.050	-	10	275	10	7B-Eng, 8A-Mus, 8F-Eng, 8F-Mus, 9F-Eng, 10B-Inf
Lehrer 32 (Teilzeit)	T-32	1.885	-	275	65	1.165	7C-Mat, 8A-Mat, 8A-Phy, 10B-Mat, 10F-Mat
Lehrer 33 (Teilzeit)	T-33	1.165	-	1.165	445	275	7B-Inf, 8C-Soz, 8E-Soz, 8EF-SpM, 9B-Inf, 10C-Inf, 10CD-SpM
Lehrer 34 (Teilzeit)	T-34	1.165	-	105	275	720	5E-Eng, 5EF-Frz, 6F-Eng, 8EF-Frz, 10AB-Frz
Lehrer 35 (Teilzeit)	T-35	3.050	-	25	275	275	5F-Eng, 8AB-Frz, 9AB-Frz, 9E-Deu
Lehrer 1 (Stunden)	S-1	1.165	-	-	-	-	6C-Kun, 7A-Inf, 9B-Mus

**Legende:**

Abk.	Abkürzung
$b$	Menge der Bezugsgruppen
$bBxS_b$	Strafpunkte, wenn mehr Schulstunden als vorgesehen für eine Bezugsgruppe an einem Unterrichtstag eingeplant werden
$bBiS_b$	Strafpunkte, wenn weniger Schulstunden als vorgesehen für eine Bezugsgruppe an einem Unterrichtstag eingeplant werden
$bBt_b$	Strafpunkte für jede zuviel eingeplante Freistunde
$bBrx_b$	Strafpunkte, wenn an zu vielen Schulstunden innerhalb der Zeitspanne mindestens eine Lehrveranstaltung der Bezugsgruppe $b$ stattfindet
$bBxT_b$	Strafpunkte, wenn mehr Unterrichtstage als vorgesehen für eine Bezugsgruppe eingeplant werden
$BJ_b$	Menge der Lehrveranstaltungen der Bezugsgruppe $b$

## B.4 Eine Lösung der Testinstanz

### B.4.1 Stundenpläne der Lehrer

*Tabelle B.4: Stundenplan des Lehrers V-1*

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	10E-Inf, PP01	9E-Phy, Ph03	10D-Phy, Ph01	X	10D-Phy, Ph01
<b>2</b>	5A-Inf, PP02	6D-Inf, PP01	X	5C-Phy, Ph01	X
<b>3</b>	X	9B-Phy, Ph02	7A-Phy, Ph03	7CD-SpJ, Sp02	X
<b>4</b>	9A-Inf, PP01	9F-Phy, Ph03	X	7CD-SpJ, Sp02	9A-Phy, Ph02
<b>5</b>	5C-Phy, Ph02	9A-Phy, Ph02	10E-Inf, PP01	6D-Inf, PP03	9F-Phy, Ph02
<b>6</b>	7CD-SpJ, Sp02	X	5A-Inf, PP03	9E-Phy, Ph02	X
<b>7</b>	7A-Phy, Ph01	X	9A-Inf, PP02	9B-Phy, Ph01	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

*Tabelle B.5: Stundenplan des Lehrers V-2*

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	7F-Mus, Mu02	6C-Inf, PP01	X	7F-Mus, Mu03	10AB-SpJ, Sp01
<b>2</b>	7F-Inf, PP01	5D-Mus, Mu01	X	6C-Inf, PP03	10AB-SpJ, Sp01
<b>3</b>	9F-Mus, Mu03	8AB-SpJ, Sp04	X	5D-Mus, Mu01	6B-Inf, PP03
<b>4</b>	X	9E-Inf, PP03	7F-Inf, PP02	9F-Mus, Mu02	6B-Mus, Mu03
<b>5</b>	X	X	5CD-SpJ, Sp01	8AB-SpJ, Sp01	5CD-SpJ, Sp02
<b>6</b>	X	6B-Mus, Mu03	5CD-SpJ, Sp01	8AB-SpJ, Sp01	X
<b>7</b>	X	6B-Inf, PP01	10AB-SpJ, Sp03	X	9E-Inf, PP02
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.6:** Stundenplan des Lehrers V-3

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	6AB-ReK, No07	X	6B-Kun, Ku02	9CD-SpJ, Sp03	X
<b>2</b>	6A-Kun, Ku02	X	10EF-ReK, No36	9CD-SpJ, Sp03	7F-Kun, Ku02
<b>3</b>	9CD-SpJ, Sp03	10B-Kun, Ku02	X	6AB-SpJ, Sp01	5AB-ReK, No01
<b>4</b>	6B-Kun, Ku02	7F-Kun, Ku03	X	6AB-SpJ, Sp01	9EF-SpJ, Sp02
<b>5</b>	9EF-SpJ, Sp01	6AB-SpJ, Sp04	5AB-ReK, No02	10B-Kun, Ku01	10EF-ReK, No35
<b>6</b>	9EF-SpJ, Sp01	X	6AB-ReK, No08	7CD-ReK, No16	X
<b>7</b>	X	7CD-ReK, No16	6A-Kun, Ku03	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.7:** Stundenplan des Lehrers V-4

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	8E-Eng, No23	10A-Eng, No31	X
<b>2</b>	7D-Inf, PP03	5C-Eng, No03	8E-Eng, No23	10A-Eng, No31	7C-Eng, No15
<b>3</b>	6A-Inf, PP01	5B-Eng, No02	7C-Eng, No15	5B-Eng, No02	5C-Eng, No03
<b>4</b>	10C-Eng, No33	5B-Eng, No02	7C-Eng, No15	8F-Inf, PP03	5C-Eng, No03
<b>5</b>	10A-Eng, No31	6F-Inf, PP03	6A-Inf, PP02	10C-Eng, No33	8E-Eng, No23
<b>6</b>	8F-Inf, PP02	X	7D-Inf, PP01	10C-Eng, No33	6F-Inf, PP03
<b>7</b>	X	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.8:** Stundenplan des Lehrers V-5

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	5A-Mat, No01	10C-Mat, No33	X	5F-Phy, Ph02
<b>2</b>	6B-Soz, No08	5A-Mat, No01	10C-Mat, No33	X	9C-Mat, No27
<b>3</b>	10C-Mat, No33	X	6E-Soz, No11	10D-Mat, No34	6E-Soz, No11
<b>4</b>	X	5F-Phy, Ph02	6D-Phy, Ph03	8A-Soz, No19	X
<b>5</b>	9D-Mat, No28	10D-Mat, No34	9C-Mat, No27	5A-Mat, No01	6D-Phy, Ph03
<b>6</b>	9D-Mat, No28	10D-Mat, No34	9C-Mat, No27	9D-Mat, No28	X
<b>7</b>	X	8A-Soz, No19	X	6B-Soz, No08	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.9:** Stundenplan des Lehrers V-6

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	6B-Deu, No08	6CD-Frz, No09	10CD-Frz, No33	10C-Deu, No33
<b>2</b>	6CD-Frz, No10	6B-Deu, No08	6CD-Frz, No09	10CD-Frz, No33	10C-Deu, No33
<b>3</b>	8CD-Frz, No22	X	10A-Deu, No31	X	7CD-Frz, No16
<b>4</b>	8CD-Frz, No22	6E-Deu, No11	10A-Deu, No31	7EF-ReK, No18	7CD-Frz, No16
<b>5</b>	7EF-ReK, No17	7CD-Frz, No16	10C-Deu, No33	X	6E-Deu, No11
<b>6</b>	10CD-Frz, No33	X	X	6B-Deu, No08	6E-Deu, No11
<b>7</b>	10A-Deu, No31	X	8CD-Frz, No22	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.10:** Stundenplan des Lehrers V-7

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5D-Deu, No04	7D-Deu, No16	10F-Kun, Ku03	5E-Deu, No05	X
<b>2</b>	5D-Deu, No04	7D-Deu, No16	5D-Deu, No04	5E-Deu, No05	X
<b>3</b>	10D-Deu, No34	10C-Kun, Ku01	5C-Kun, Ku01	X	X
<b>4</b>	X	X	8D-Kun, Ku01	X	X
<b>5</b>	10F-Kun, Ku02	5C-Inf, PP02	10D-Deu, No34	5B-Deu, No02	8D-Kun, Ku02
<b>6</b>	5C-Kun, Ku01	5E-Deu, No05	10D-Deu, No34	5B-Deu, No02	7D-Deu, No16
<b>7</b>	5B-Deu, No02	X	X	5C-Inf, PP03	10C-Kun, Ku02
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.11:** Stundenplan des Lehrers V-8

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8C-Erd, No21	X	X	X	X
<b>2</b>	X	X	5F-Soz, No06	5A-Soz, No01	8C-Erd, No21
<b>3</b>	10E-Soz, No35	X	10F-Soz, No36	7E-Soz, No17	5F-Soz, No06
<b>4</b>	10F-Soz, No36	7E-Soz, No17	10E-Soz, No35	5D-Erd, No04	X
<b>5</b>	5A-Soz, No01	8F-Soz, No24	5E-Soz, No05	9C-Soz, No27	X
<b>6</b>	5D-Erd, No04	9C-Soz, No27	X	8F-Soz, No24	5E-Soz, No05
<b>7</b>	8F-Erd, No24	X	7D-Erd, No16	8F-Erd, No24	7D-Erd, No16
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.12:** Stundenplan des Lehrers V-9

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	7E-Erd, No17	X	X	X	7F-Soz, No18
<b>2</b>	7A-Erd, No13	7E-Inf, PP02	5E-Inf, PP01	X	X
<b>3</b>	10F-Inf, PP03	7F-Soz, No18	5F-Erd, No06	X	10F-Inf, PP02
<b>4</b>	X	X	9B-Erd, No26	9E-Erd, No29	10C-Erd, No33
<b>5</b>	5F-Erd, No06	10A-Erd, No31	X	7E-Erd, No17	5E-Inf, PP03
<b>6</b>	9B-Erd, No26	5A-Erd, No01	7A-Erd, No13	10A-Erd, No31	5A-Erd, No01
<b>7</b>	9E-Erd, No29	X	10C-Erd, No33	X	7E-Inf, PP01
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.13:** Stundenplan des Lehrers V-10

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	9A-Kun, Ku03	X	X	7D-Kun, Ku01
<b>2</b>	X	8F-Kun, Ku01	X	X	10E-Deu, No35
<b>3</b>	7E-Deu, No17	9C-Inf, PP02	6F-Kun, Ku02	9A-Kun, Ku01	6F-Kun, Ku02
<b>4</b>	7E-Deu, No17	7D-Kun, Ku01	X	5F-Inf, PP01	X
<b>5</b>	10E-Deu, No35	9F-Deu, No30	8A-Deu, No19	8F-Kun, Ku02	9C-Inf, PP02
<b>6</b>	10E-Deu, No35	9F-Deu, No30	8A-Deu, No19	X	8A-Deu, No19
<b>7</b>	5F-Inf, PP01	X	7E-Deu, No17	X	9F-Deu, No30
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.14:** Stundenplan des Lehrers V-11

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	5D-Soz, No04	7EF-SpJ, Sp02	5D-Soz, No04	7AB-SpJ, Sp02
<b>2</b>	5B-Soz, No02	X	7EF-SpJ, Sp02	6F-Soz, No12	7AB-SpJ, Sp02
<b>3</b>	X	8AB-SpM, Sp03	9B-Deu, No26	10EF-SpJ, Sp03	7EF-SpJ, Sp03
<b>4</b>	X	7AB-SpJ, Sp04	5B-Soz, No02	10EF-SpJ, Sp03	9EF-SpM, Sp04
<b>5</b>	9EF-SpM, Sp03	10EF-SpJ, Sp02	X	8AB-SpM, Sp04	9B-Deu, No26
<b>6</b>	9EF-SpM, Sp03	6F-Soz, No12	X	8AB-SpM, Sp04	9B-Deu, No26
<b>7</b>	X	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.15:** Stundenplan des Lehrers V-12

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	9F-Inf, PP03	X	9C-Mus, Mu02	8B-Eng, No20	8D-Inf, PP02
<b>2</b>	X	X	9F-Inf, PP03	7E-Mus, Mu02	7D-Eng, No16
<b>3</b>	7D-Eng, No16	5E-Mus, Mu01	9D-Eng, No28	X	5E-Mus, Mu01
<b>4</b>	7D-Eng, No16	X	9D-Eng, No28	X	6D-Eng, No10
<b>5</b>	8D-Inf, PP02	8B-Eng, No20	6D-Eng, No10	10F-Mus, Mu03	X
<b>6</b>	9C-Mus, Mu02	8B-Eng, No20	6D-Eng, No10	X	X
<b>7</b>	7E-Mus, Mu03	10F-Mus, Mu01	X	X	9D-Eng, No28
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.16:** Stundenplan des Lehrers V-13

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	7F-Eng, No18	5B-Erd, No02	X	9A-Eng, No25
<b>2</b>	X	7F-Eng, No18	6B-Eng, No08	7F-Eng, No18	9A-Eng, No25
<b>3</b>	6D-Erd, No10	9A-Eng, No25	10E-Erd, No35	9E-Eng, No29	X
<b>4</b>	10E-Erd, No35	9D-Erd, No28	7E-Eng, No17	6D-Erd, No10	5B-Erd, No02
<b>5</b>	6B-Eng, No08	9E-Eng, No29	8D-Eng, No22	9D-Erd, No28	7E-Eng, No17
<b>6</b>	6B-Eng, No08	9E-Eng, No29	8D-Eng, No22	X	7E-Eng, No17
<b>7</b>	X	X	X	X	8D-Eng, No22
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.17:** Stundenplan des Lehrers V-14

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	6E-Erd, No11	X	9C-Erd, No27
<b>2</b>	9F-Kun, Ku03	X	X	X	5D-Kun, Ku03
<b>3</b>	7C-Erd, No15	5D-Kun, Ku03	9F-Kun, Ku03	8B-Kun, Ku02	X
<b>4</b>	6E-Erd, No11	9C-Erd, No27	8E-Erd, No23	X	5A-Kun, Ku03
<b>5</b>	8B-Kun, Ku03	5A-Kun, Ku02	7C-Erd, No15	5F-Kun, Ku03	10B-Erd, No32
<b>6</b>	5F-Kun, Ku03	10B-Erd, No32	X	10E-Kun, Ku02	8E-Erd, No23
<b>7</b>	10E-Kun, Ku03	X	6B-Erd, No08	X	6B-Erd, No08
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.18:** Stundenplan des Lehrers V-15

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	6D-BiC, BC03	X	9B-BiC, BC01	X
<b>2</b>	X	X	5A-BiC, BC01	6D-Deu, No10	9E-BiC, BC03
<b>3</b>	9E-BiC, BC03	5A-Deu, No01	6C-BiC, BC01	5A-Deu, No01	6C-BiC, BC02
<b>4</b>	5F-Deu, No06	X	X	5A-Deu, No01	X
<b>5</b>	6D-Deu, No10	7A-Deu, No13	5F-Deu, No06	7A-Deu, No13	X
<b>6</b>	6D-Deu, No10	10A-BiC, BC01	5F-Deu, No06	7A-Deu, No13	6D-BiC, BC01
<b>7</b>	5A-BiC, BC03	9B-BiC, BC01	X	X	10A-BiC, BC02
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.19:** Stundenplan des Lehrers V-16

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	9A-Mat, No25	7C-Mus, Mu02	X	X	10E-Mus, Mu01
<b>2</b>	9A-Mat, No25	X	X	7C-Kun, Ku01	6D-Mus, Mu03
<b>3</b>	7A-Mat, No13	10E-Mus, Mu02	6D-Mus, Mu02	X	X
<b>4</b>	7A-Mat, No13	X	9E-Kun, Ku02	X	8E-Mat, No23
<b>5</b>	7D-Mus, Mu01	8E-Mat, No23	7A-Kun, Ku02	7D-Mus, Mu02	7A-Kun, Ku03
<b>6</b>	X	8E-Mat, No23	9A-Mat, No25	9C-Kun, Ku01	9E-Kun, Ku02
<b>7</b>	7C-Kun, Ku02	9C-Kun, Ku01	X	7C-Mus, Mu01	7A-Mat, No13
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.20:** Stundenplan des Lehrers V-17

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5AB-Frz, No02	10EF-Frz, No35	X	6D-Soz, No10	5AB-Frz, No01
<b>2</b>	8C-Mus, Mu02	10EF-Frz, No35	X	7B-Mus, Mu03	5AB-Frz, No01
<b>3</b>	X	X	X	X	X
<b>4</b>	9F-Soz, No30	9A-Mus, Mu03	8C-Mus, Mu01	9A-Mus, Mu01	7A-Mus, Mu02
<b>5</b>	7B-Mus, Mu02	9B-Soz, No26	7EF-Frz, No18	X	X
<b>6</b>	7EF-Frz, No18	7A-Mus, Mu02	7EF-Frz, No18	9F-Soz, No30	9D-Mus, Mu01
<b>7</b>	X	6D-Soz, No10	9D-Mus, Mu02	10EF-Frz, No35	9B-Soz, No26
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.21:** Stundenplan des Lehrers V-18

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	X	8CD-SpJ, Sp03	X
<b>2</b>	X	10D-Soz, No34	X	8CD-SpJ, Sp03	5F-Mus, Mu02
<b>3</b>	X	7A-Soz, No13	6A-Mus, Mu03	X	7A-Soz, No13
<b>4</b>	8B-Soz, No20	5A-Mus, Mu02	5F-Mus, Mu03	10D-Soz, No34	6A-Mus, Mu01
<b>5</b>	7C-Soz, No15	X	6EF-SpJ, Sp04	7C-Soz, No15	X
<b>6</b>	9A-Soz, No25	5B-Mus, Mu01	6EF-SpJ, Sp04	X	9A-Soz, No25
<b>7</b>	6EF-SpJ, Sp01	8CD-SpJ, Sp04	8B-Soz, No20	5B-Mus, Mu02	5A-Mus, Mu01
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.22:** Stundenplan des Lehrers V-19

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	8F-BiC, BC01	8A-BiC, BC03	6F-BiC, BC02	8A-BiC, BC03
<b>2</b>	6F-Phy, Ph03	7C-Phy, Ph03	6F-Phy, Ph03	5D-Phy, Ph03	8A-Inf, PP03
<b>3</b>	X	X	5B-Inf, PP03	8F-BiC, BC02	10C-Phy, Ph02
<b>4</b>	X	10A-Inf, PP02	9F-BiC, BC02	8B-Phy, Ph01	X
<b>5</b>	8A-Inf, PP01	5D-Phy, Ph03	X	10A-Inf, PP02	7C-Phy, Ph01
<b>6</b>	5B-Inf, PP03	10C-Phy, Ph03	X	X	9F-BiC, BC03
<b>7</b>	8B-Phy, Ph02	6F-BiC, BC03	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.23:** Stundenplan des Lehrers V-20

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	6A-Mat, No07	5F-Mat, No06	X
<b>2</b>	9D-Soz, No28	X	6A-Mat, No07	5F-Mat, No06	6A-Mat, No07
<b>3</b>	5F-Mat, No06	7D-Soz, No16	8F-Mat, No24	5E-Mat, No05	5D-Mat, No04
<b>4</b>	8F-Mat, No24	5D-Mat, No04	8F-Mat, No24	5E-Mat, No05	5D-Mat, No04
<b>5</b>	X	6C-Mat, No09	9D-Soz, No28	X	X
<b>6</b>	6F-Erd, No12	6C-Mat, No09	5E-Erd, No05	6C-Mat, No09	X
<b>7</b>	5E-Erd, No05	5E-Mat, No05	X	7D-Soz, No16	6F-Erd, No12
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.24:** Stundenplan des Lehrers V-21

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	6F-Mus, Mu03	6A-Eng, No07	6CD-Lat, No10	10E-Eng, No35	6A-Eng, No07
<b>2</b>	6CD-Lat, No09	6A-Eng, No07	6CD-Lat, No10	10E-Eng, No35	X
<b>3</b>	10A-Mus, Mu02	10F-Eng, No36	8E-Mus, Mu01	8C-Eng, No21	10A-Mus, Mu02
<b>4</b>	X	10F-Eng, No36	6F-Mus, Mu02	8C-Eng, No21	X
<b>5</b>	8C-Eng, No21	X	6C-Eng, No09	X	9E-Mus, Mu02
<b>6</b>	6C-Eng, No09	10E-Eng, No35	6C-Eng, No09	10F-Eng, No36	X
<b>7</b>	8E-Mus, Mu01	9E-Mus, Mu02	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.25:** Stundenplan des Lehrers V-22

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	6E-Mat, No11	5B-Mat, No02	8C-Mat, No21	X	X
<b>2</b>	6E-Mat, No11	5B-Mat, No02	8C-Mat, No21	X	6B-Mat, No08
<b>3</b>	6B-BiC, BC01	6EF-ReK, No12	6B-Mat, No08	7B-BiC, BC03	X
<b>4</b>	7C-BiC, BC03	8E-BiC, BC02	6B-Mat, No08	8E-BiC, BC01	6EF-ReK, No12
<b>5</b>	X	7B-BiC, BC01	X	6B-BiC, BC01	5B-Mat, No02
<b>6</b>	8C-Mat, No21	X	7C-BiC, BC03	6E-Mat, No11	X
<b>7</b>	9C-BiC, BC02	X	9C-BiC, BC03	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.26:** Stundenplan des Lehrers V-23

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5C-Mat, No03	7A-BiC, BC02	X	X	X
<b>2</b>	5C-Mat, No03	X	8D-BiC, BC02	X	8D-BiC, BC01
<b>3</b>	7F-Mat, No18	8C-BiC, BC02	7F-BiC, BC03	5F-BiC, BC01	8C-BiC, BC01
<b>4</b>	7F-Mat, No18	10B-Mus, Mu01	X	7A-BiC, BC03	X
<b>5</b>	X	10B-BiC, BC03	X	6E-BiC, BC02	7F-BiC, BC01
<b>6</b>	X	5F-BiC, BC03	10C-Mus, Mu01	10B-BiC, BC02	10B-Mus, Mu02
<b>7</b>	10C-Mus, Mu02	6E-BiC, BC02	5C-Mat, No03	7F-Mat, No18	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.27:** Stundenplan des Lehrers T-1

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	10A-Mat, No31	5C-Mus, Mu03	X	X	6D-Mat, No10
<b>2</b>	10A-Mat, No31	6C-Soz, No09	X	X	X
<b>3</b>	X	X	X	5C-Mus, Mu02	10E-Mat, No35
<b>4</b>	X	10E-Mat, No35	X	X	10E-Mat, No35
<b>5</b>	X	6D-Mat, No10	X	6C-Soz, No09	8B-Mus, Mu03
<b>6</b>	X	6D-Mat, No10	X	X	10A-Mat, No31
<b>7</b>	X	8B-Mus, Mu03	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.28:** Stundenplan des Lehrers T-2

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	X	9EF-Frz, No29	X
<b>2</b>	X	9EF-Frz, No29	X	9EF-Frz, No29	X
<b>3</b>	X	7E-BiC, BC01	X	6EF-Frz, No12	X
<b>4</b>	8E-Inf, PP03	X	X	6EF-Frz, No12	7E-BiC, BC03
<b>5</b>	6EF-Frz, No11	X	X	5CD-Frz, No03	8C-Inf, PP01
<b>6</b>	X	5CD-Frz, No04	X	5CD-Frz, No03	X
<b>7</b>	8C-Inf, PP02	X	X	X	8E-Inf, PP03
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.29:** Stundenplan des Lehrers T-3

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5EF-SpJ, Sp03	X	X	5A-Phy, Ph02	X
<b>2</b>	5EF-SpJ, Sp03	X	X	X	X
<b>3</b>	5AB-SpJ, Sp03	X	X	X	6A-Phy, Ph01
<b>4</b>	5AB-SpJ, Sp03	X	6A-Phy, Ph02	X	5EF-SpJ, Sp03
<b>5</b>	X	X	5CD-SpM, Sp01	9AB-SpJ, Sp02	5CD-SpM, Sp04
<b>6</b>	5A-Phy, Ph02	X	5CD-SpM, Sp01	9AB-SpJ, Sp02	X
<b>7</b>	9AB-SpJ, Sp01	X	5AB-SpJ, Sp03	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.30:** Stundenplan des Lehrers T-4

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	9CD-Frz, No28	7AB-Frz, No14	X	5CD-ReK, No03
<b>2</b>	X	9CD-Frz, No28	7AB-Frz, No14	X	X
<b>3</b>	X	6AB-Frz, No08	X	X	9CD-Frz, No28
<b>4</b>	X	6AB-Frz, No08	10CD-ReK, No34	X	9CD-ReK, No27
<b>5</b>	10CD-ReK, No33	9CD-ReK, No27	X	X	6AB-Frz, No07
<b>6</b>	X	X	X	X	7AB-Frz, No13
<b>7</b>	X	5CD-ReK, No03	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.31:** Stundenplan des Lehrers T-5

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	5EF-Lat, No05	7AB-Lat, No13	6E-Eng, No11	X
<b>2</b>	X	5EF-Lat, No05	7AB-Lat, No13	6E-Eng, No11	X
<b>3</b>	X	X	5A-Eng, No01	X	X
<b>4</b>	X	X	5A-Eng, No01	X	10AB-Lat, No32
<b>5</b>	X	6E-Eng, No11	10AB-Lat, No32	X	5A-Eng, No01
<b>6</b>	X	X	10AB-Lat, No32	X	7AB-Lat, No14
<b>7</b>	X	X	X	X	5EF-Lat, No05
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.32:** Stundenplan des Lehrers T-6

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	X	X	7C-Inf, PP01
<b>2</b>	X	8E-Phy, Ph01	X	X	X
<b>3</b>	X	9D-Phy, Ph03	X	8E-Phy, Ph03	5AB-ReE, No02
<b>4</b>	X	10D-Inf, PP01	X	9D-Phy, Ph02	9CD-ReE, No28
<b>5</b>	X	9CD-ReE, No28	5AB-ReE, No01	10D-Inf, PP01	X
<b>6</b>	X	7C-Inf, PP01	5B-Phy, Ph03	X	5B-Phy, Ph02
<b>7</b>	X	10B-Phy, Ph03	X	X	10B-Phy, Ph02
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.33:** Stundenplan des Lehrers T-7

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	9D-Kun, Ku03	X	5E-Kun, Ku01	X	X
<b>2</b>	7B-Kun, Ku01	X	9D-Kun, Ku03	9AB-ReK, No25	X
<b>3</b>	9AB-ReK, No25	9EF-ReK, No30	X	6CD-ReK, No10	X
<b>4</b>	5E-Kun, Ku01	X	X	7B-Kun, Ku03	X
<b>5</b>	X	5EF-ReK, No06	X	9EF-ReK, No29	X
<b>6</b>	X	6E-Kun, Ku03	X	5EF-ReK, No05	X
<b>7</b>	6CD-ReK, No09	X	X	6E-Kun, Ku02	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.34:** Stundenplan des Lehrers T-8

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	7B-Deu, No14	X	7B-Deu, No14	X
<b>2</b>	7E-Phy, Ph02	7B-Deu, No14	X	8AB-ReK, No20	X
<b>3</b>	X	X	7E-Phy, Ph02	10A-Phy, Ph02	X
<b>4</b>	10AB-ReK, No31	8AB-ReK, No19	10CD-ReE, No33	X	X
<b>5</b>	10CD-ReE, No34	7F-Deu, No18	X	7F-Deu, No18	X
<b>6</b>	10A-Phy, Ph03	X	X	7F-Deu, No18	X
<b>7</b>	X	X	X	10AB-ReK, No31	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.35:** Stundenplan des Lehrers T-9

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	X	8A-Kun, Ku03	6F-Deu, No12
<b>2</b>	X	X	X	8E-Deu, No23	6F-Deu, No12
<b>3</b>	5C-Deu, No03	X	X	6CD-ReE, No09	X
<b>4</b>	5C-Deu, No03	6F-Deu, No12	X	5C-Deu, No03	X
<b>5</b>	8E-Deu, No23	5EF-ReE, No05	X	X	X
<b>6</b>	8E-Deu, No23	8A-Kun, Ku02	X	5EF-ReE, No06	X
<b>7</b>	6CD-ReE, No10	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.36:** Stundenplan des Lehrers T-10

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5AB-Lat, No01	X	X	X	5AB-Lat, No02
<b>2</b>	X	X	X	X	5AB-Lat, No02
<b>3</b>	8CD-Lat, No21	5C-Erd, No03	8AB-Lat, No20	X	10D-Erd, No34
<b>4</b>	8CD-Lat, No21	X	8AB-Lat, No20	X	8B-Erd, No20
<b>5</b>	X	X	X	X	X
<b>6</b>	X	X	8B-Erd, No20	X	5C-Erd, No03
<b>7</b>	10D-Erd, No34	X	8CD-Lat, No21	X	8AB-Lat, No20
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.37:** Stundenplan des Lehrers T-11

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	6F-Mat, No12	X	8CD-SpM, Sp01	10AB-SpM, Sp03
<b>2</b>	X	6F-Mat, No12	X	8CD-SpM, Sp01	10AB-SpM, Sp03
<b>3</b>	X	8D-Mat, No22	X	10EF-SpM, Sp02	X
<b>4</b>	X	8D-Mat, No22	X	10EF-SpM, Sp02	X
<b>5</b>	X	10EF-SpM, Sp04	X	6F-Mat, No12	9D-BiC, BC03
<b>6</b>	X	X	9D-BiC, BC02	8D-Mat, No22	X
<b>7</b>	X	8CD-SpM, Sp03	10AB-SpM, Sp02	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.38:** Stundenplan des Lehrers T-12

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8D-Deu, No22	X	7C-Deu, No15	7A-Eng, No13	X
<b>2</b>	7C-Deu, No15	X	7C-Deu, No15	7A-Eng, No13	X
<b>3</b>	5D-Eng, No04	X	X	10B-Deu, No32	8D-Deu, No22
<b>4</b>	5D-Eng, No04	X	5D-Eng, No04	10B-Deu, No32	8D-Deu, No22
<b>5</b>	7A-Eng, No13	X	X	X	8A-Erd, No19
<b>6</b>	X	X	X	X	X
<b>7</b>	10B-Deu, No32	X	8A-Erd, No19	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.39:** Stundenplan des Lehrers T-13

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	6AB-ReE, No08	X	X	X	X
<b>2</b>	8D-Mus, Mu03	X	10EF-ReE, No35	X	6C-Erd, No09
<b>3</b>	X	X	8D-Erd, No22	8D-Mus, Mu03	9A-Erd, No25
<b>4</b>	X	X	6C-Erd, No09	X	7F-Erd, No18
<b>5</b>	X	X	9A-Erd, No25	X	10EF-ReE, No36
<b>6</b>	6E-Mus, Mu03	X	6AB-ReE, No07	X	8D-Erd, No22
<b>7</b>	X	X	7F-Erd, No18	X	6E-Mus, Mu02
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.40:** Stundenplan des Lehrers T-14

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	X	X	8C-Deu, No21
<b>2</b>	10C-BiC, BC03	X	X	X	5C-BiC, BC02
<b>3</b>	X	10D-BiC, BC03	10C-BiC, BC02	X	6D-Kun, Ku01
<b>4</b>	6D-Kun, Ku03	5C-BiC, BC01	X	X	10D-BiC, BC02
<b>5</b>	5D-BiC, BC01	X	8C-Deu, No21	X	7D-BiC, BC02
<b>6</b>	X	7D-BiC, BC02	8C-Deu, No21	X	X
<b>7</b>	X	X	5D-BiC, BC01	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.41:** Stundenplan des Lehrers T-15

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	8E-Kun, Ku02	X	8E-Kun, Ku01	X
<b>2</b>	X	10A-Kun, Ku03	10D-Kun, Ku02	X	10D-Kun, Ku01
<b>3</b>	X	10A-Soz, No31	9E-Soz, No29	10C-Soz, No33	9E-Soz, No29
<b>4</b>	X	10C-Soz, No33	X	10A-Soz, No31	X
<b>5</b>	X	7E-Kun, Ku01	X	X	10A-Kun, Ku01
<b>6</b>	X	8C-Kun, Ku01	X	7E-Kun, Ku03	8C-Kun, Ku03
<b>7</b>	X	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.42:** Stundenplan des Lehrers T-16

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	10D-Eng, No34	X	9AB-Lat, No25	X	X
<b>2</b>	10D-Eng, No34	X	9AB-Lat, No25	9AB-ReE, No26	X
<b>3</b>	9AB-ReE, No26	X	10D-Eng, No34	9C-Eng, No27	X
<b>4</b>	9C-Eng, No27	X	7AB-ReK, No13	9C-Eng, No27	X
<b>5</b>	9AB-Lat, No26	X	X	X	X
<b>6</b>	7AB-ReK, No13	X	X	7CD-ReE, No15	X
<b>7</b>	X	7CD-ReE, No15	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.43:** Stundenplan des Lehrers T-17

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	8F-Deu, No24	10F-Deu, No36	X
<b>2</b>	10F-Deu, No36	X	8F-Deu, No24	10F-Deu, No36	X
<b>3</b>	6E-Inf, PP02	X	5D-Inf, PP02	9D-Inf, PP01	8B-Inf, PP01
<b>4</b>	9D-Inf, PP02	X	6E-Inf, PP03	X	8F-Deu, No24
<b>5</b>	6C-Deu, No09	X	X	X	6C-Deu, No09
<b>6</b>	8B-Inf, PP01	X	X	X	6C-Deu, No09
<b>7</b>	5D-Inf, PP03	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.44:** Stundenplan des Lehrers T-18

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	8B-Mat, No20	9E-Mat, No29	X	9B-Mat, No26
<b>2</b>	X	8B-Mat, No20	9E-Mat, No29	X	9B-Mat, No26
<b>3</b>	8EF-ReK, No24	6EF-ReE, No11	7D-Mat, No16	X	X
<b>4</b>	9E-Mat, No29	X	7D-Mat, No16	X	6EF-ReE, No11
<b>5</b>	X	X	9B-Mat, No26	X	X
<b>6</b>	X	X	8EF-ReK, No24	X	8B-Mat, No20
<b>7</b>	7D-Mat, No16	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.45:** Stundenplan des Lehrers T-19

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	10EF-Lat, No36	X	X	X
<b>2</b>	X	10EF-Lat, No36	9C-Phy, Ph01	X	X
<b>3</b>	5E-Phy, Ph01	X	X	X	X
<b>4</b>	10D-Mus, Mu02	X	5E-Phy, Ph01	8D-Phy, Ph03	X
<b>5</b>	9C-Phy, Ph01	X	7EF-Lat, No17	10E-Phy, Ph01	X
<b>6</b>	7EF-Lat, No17	8D-Phy, Ph01	7EF-Lat, No17	10D-Mus, Mu01	X
<b>7</b>	X	10E-Phy, Ph01	X	10EF-Lat, No36	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.46:** Stundenplan des Lehrers T-20

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	7EF-SpM, Sp01	X	7AB-SpM, Sp04
<b>2</b>	X	X	7EF-SpM, Sp01	X	7AB-SpM, Sp04
<b>3</b>	5AB-SpM, Sp01	7B-Soz, No14	10B-Soz, No32	X	7EF-SpM, Sp01
<b>4</b>	5AB-SpM, Sp01	7AB-SpM, Sp03	X	X	X
<b>5</b>	X	X	6EF-SpM, Sp03	X	7B-Soz, No14
<b>6</b>	10B-Soz, No32	X	6EF-SpM, Sp03	X	X
<b>7</b>	6EF-SpM, Sp03	X	5AB-SpM, Sp02	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.47:** Stundenplan des Lehrers T-21

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	7B-Phy, Ph02	X	8D-Soz, No22	X	X
<b>2</b>	X	X	6E-Phy, Ph02	X	6E-Phy, Ph01
<b>3</b>	X	X	8C-Phy, Ph01	X	7B-Phy, Ph03
<b>4</b>	6C-Mus, Mu03	X	5C-Soz, No03	6C-Mus, Mu03	8C-Phy, Ph03
<b>5</b>	X	X	6B-Phy, Ph02	X	X
<b>6</b>	8D-Soz, No22	X	10F-Phy, Ph01	X	6B-Phy, Ph03
<b>7</b>	10F-Phy, Ph03	X	X	X	5C-Soz, No03
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.48:** Stundenplan des Lehrers T-22

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8EF-Lat, No24	X	X	10CD-Lat, No34	9D-Deu, No28
<b>2</b>	8EF-Lat, No24	X	X	10CD-Lat, No34	9D-Deu, No28
<b>3</b>	7B-Erd, No14	X	X	6EF-Lat, No11	8EF-Lat, No23
<b>4</b>	X	X	X	6EF-Lat, No11	10F-Erd, No36
<b>5</b>	6EF-Lat, No12	X	10F-Erd, No36	X	X
<b>6</b>	10CD-Lat, No34	X	X	X	X
<b>7</b>	9D-Deu, No28	X	7B-Erd, No14	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.49:** Stundenplan des Lehrers T-23

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	7D-Phy, Ph01	X	X	X	X
<b>2</b>	X	X	5B-Kun, Ku01	X	X
<b>3</b>	8EF-ReE, No23	9EF-ReE, No29	X	7F-Phy, Ph01	X
<b>4</b>	10AB-ReE, No32	9B-Kun, Ku02	7AB-ReE, No14	9B-Kun, Ku02	X
<b>5</b>	5B-Kun, Ku01	X	7D-Phy, Ph01	9EF-ReE, No30	X
<b>6</b>	7AB-ReE, No14	7F-Phy, Ph02	8EF-ReE, No23	X	X
<b>7</b>	X	X	X	10AB-ReE, No32	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.50:** Stundenplan des Lehrers T-24

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	X	X	8EF-SpJ, Sp03
<b>2</b>	X	X	X	8F-Phy, Ph02	8EF-SpJ, Sp03
<b>3</b>	6C-Phy, Ph03	X	9C-Deu, No27	7CD-SpM, Sp01	X
<b>4</b>	X	X	9C-Deu, No27	7CD-SpM, Sp01	X
<b>5</b>	8F-Phy, Ph03	X	8EF-SpJ, Sp02	9AB-SpM, Sp02	X
<b>6</b>	7CD-SpM, Sp04	X	X	9AB-SpM, Sp02	9C-Deu, No27
<b>7</b>	9AB-SpM, Sp02	X	X	6C-Phy, Ph03	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.51:** Stundenplan des Lehrers T-25

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	9F-Erd, No30	X	X	5CD-ReE, No04
<b>2</b>	X	X	X	8AB-ReE, No19	X
<b>3</b>	X	X	X	9F-Erd, No30	X
<b>4</b>	X	8AB-ReE, No20	X	7EF-ReE, No17	X
<b>5</b>	7EF-ReE, No18	8CD-ReK, No21	X	8CD-ReK, No22	X
<b>6</b>	X	6A-Erd, No07	X	X	X
<b>7</b>	X	5CD-ReE, No04	X	6A-Erd, No07	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.52:** Stundenplan des Lehrers T-26

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	X	9A-BiC, BC03	X
<b>2</b>	10E-BiC, BC01	9A-BiC, BC03	X	6A-Soz, No07	X
<b>3</b>	8B-BiC, BC02	X	X	X	X
<b>4</b>	6A-BiC, BC02	5E-BiC, BC03	10F-BiC, BC01	5B-BiC, BC02	X
<b>5</b>	X	5B-BiC, BC02	8B-BiC, BC03	5E-BiC, BC03	X
<b>6</b>	10F-BiC, BC01	X	10E-BiC, BC01	6A-BiC, BC03	X
<b>7</b>	6A-Soz, No07	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.53:** Stundenplan des Lehrers T-27

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	7E-Mat, No17	X	X	7E-Mat, No17
<b>2</b>	X	X	X	X	7E-Mat, No17
<b>3</b>	X	6CD-SpJ, Sp04	X	6AB-SpM, Sp03	9F-Mat, No30
<b>4</b>	X	6CD-SpJ, Sp04	X	6AB-SpM, Sp03	X
<b>5</b>	X	6AB-SpM, Sp02	9F-Mat, No30	7B-Mat, No14	X
<b>6</b>	X	7B-Mat, No14	9F-Mat, No30	7B-Mat, No14	X
<b>7</b>	X	X	X	X	6CD-SpJ, Sp04
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.54:** Stundenplan des Lehrers T-28

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8B-Deu, No20	X	X	9EF-Lat, No30	X
<b>2</b>	8B-Deu, No20	9EF-Lat, No30	X	9EF-Lat, No30	X
<b>3</b>	X	6AB-Lat, No07	X	X	7CD-Lat, No15
<b>4</b>	X	6AB-Lat, No07	X	X	7CD-Lat, No15
<b>5</b>	X	7CD-Lat, No15	X	5CD-Lat, No04	6AB-Lat, No08
<b>6</b>	X	5CD-Lat, No03	X	5CD-Lat, No04	X
<b>7</b>	X	X	X	8B-Deu, No20	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.55:** Stundenplan des Lehrers T-29

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5EF-SpM, Sp02	9CD-Lat, No27	X	9CD-SpM, Sp01	X
<b>2</b>	5EF-SpM, Sp02	9CD-Lat, No27	X	9CD-SpM, Sp01	X
<b>3</b>	9CD-SpM, Sp04	6CD-SpM, Sp01	X	X	9CD-Lat, No27
<b>4</b>	X	6CD-SpM, Sp01	X	X	5EF-SpM, Sp03
<b>5</b>	X	8CD-ReE, No22	X	8CD-ReE, No21	10CD-SpJ, Sp01
<b>6</b>	X	X	X	X	10CD-SpJ, Sp01
<b>7</b>	X	10CD-SpJ, Sp04	X	X	6CD-SpM, Sp03
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.56:** Stundenplan des Lehrers T-30

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8A-Eng, No19	X	X	10B-Eng, No32	X
<b>2</b>	8A-Eng, No19	X	8A-Eng, No19	10B-Eng, No32	X
<b>3</b>	10B-Eng, No32	X	9A-Deu, No25	X	9B-Eng, No26
<b>4</b>	9B-Eng, No26	X	9A-Deu, No25	X	9B-Eng, No26
<b>5</b>	6A-Deu, No07	X	X	6A-Deu, No07	9A-Deu, No25
<b>6</b>	6A-Deu, No07	X	X	X	X
<b>7</b>	X	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.57:** Stundenplan des Lehrers T-31

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	X	X	9F-Eng, No30
<b>2</b>	X	X	X	X	9F-Eng, No30
<b>3</b>	X	8F-Mus, Mu03	X	X	8A-Mus, Mu03
<b>4</b>	7B-Eng, No14	8F-Eng, No24	10B-Inf, PP01	X	X
<b>5</b>	10B-Inf, PP03	8A-Mus, Mu01	7B-Eng, No14	X	8F-Eng, No24
<b>6</b>	X	X	7B-Eng, No14	X	8F-Eng, No24
<b>7</b>	9F-Eng, No30	X	X	X	8F-Mus, Mu03
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.58:** Stundenplan des Lehrers T-32

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	10B-Mat, No32	X	X	7C-Mat, No15	10F-Mat, No36
<b>2</b>	10B-Mat, No32	X	X	X	10F-Mat, No36
<b>3</b>	8A-Mat, No19	7C-Mat, No15	X	8A-Mat, No19	10B-Mat, No32
<b>4</b>	8A-Mat, No19	7C-Mat, No15	X	X	8A-Phy, Ph01
<b>5</b>	X	X	X	X	X
<b>6</b>	8A-Phy, Ph01	10F-Mat, No36	X	X	X
<b>7</b>	X	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.59:** Stundenplan des Lehrers T-33

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	X	X	8EF-SpM, Sp02
<b>2</b>	X	X	X	X	8EF-SpM, Sp02
<b>3</b>	X	8E-Soz, No23	7B-Inf, PP01	9B-Inf, PP03	X
<b>4</b>	X	8C-Soz, No21	X	10C-Inf, PP02	7B-Inf, PP01
<b>5</b>	X	10C-Inf, PP01	8EF-SpM, Sp03	8E-Soz, No23	10CD-SpM, Sp03
<b>6</b>	X	9B-Inf, PP02	X	X	10CD-SpM, Sp03
<b>7</b>	X	10CD-SpM, Sp01	X	X	8C-Soz, No21
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.60:** Stundenplan des Lehrers T-34

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8EF-Frz, No23	5EF-Frz, No06	X	X	X
<b>2</b>	8EF-Frz, No23	5EF-Frz, No06	X	X	X
<b>3</b>	6F-Eng, No12	X	5E-Eng, No05	X	8EF-Frz, No24
<b>4</b>	6F-Eng, No12	X	X	X	10AB-Frz, No31
<b>5</b>	5E-Eng, No05	X	10AB-Frz, No31	X	6F-Eng, No12
<b>6</b>	5E-Eng, No05	X	10AB-Frz, No31	X	X
<b>7</b>	X	X	X	X	5EF-Frz, No06
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.61:** Stundenplan des Lehrers T-35

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	9E-Deu, No29	X	9AB-Frz, No26	X	X
<b>2</b>	9E-Deu, No29	X	9AB-Frz, No26	X	X
<b>3</b>	X	5F-Eng, No06	8AB-Frz, No19	X	X
<b>4</b>	X	X	8AB-Frz, No19	X	X
<b>5</b>	9AB-Frz, No25	X	9E-Deu, No29	X	5F-Eng, No06
<b>6</b>	X	X	X	X	5F-Eng, No06
<b>7</b>	X	X	X	X	8AB-Frz, No19
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.62:** Stundenplan des Lehrers S-1

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	X	X	X
<b>2</b>	9B-Mus, Mu01	7A-Inf, PP03	X	X	X
<b>3</b>	X	X	X	7A-Inf, PP02	X
<b>4</b>	X	X	X	X	6C-Kun, Ku01
<b>5</b>	X	X	X	X	X
<b>6</b>	X	X	9B-Mus, Mu02	X	X
<b>7</b>	X	6C-Kun, Ku03	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

## B.4.2 Stundenpläne der Schulklassen

**Tabelle B.63:** Stundenplan der Schulklasse 5A

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5AB-Frz, No02, V-17   5AB-Lat, No01, T-10	5A-Mat, No01, V-5	X	5A-Phy, Ph02, T-3	5AB-Frz, No01, V-17   5AB-Lat, No02, T-10
<b>2</b>	5A-Inf, PP02, V-1	5A-Mat, No01, V-5	5A-BiC, BC01, V-15	5A-Soz, No01, V-8	5AB-Frz, No01, V-17   5AB-Lat, No02, T-10
<b>3</b>	5AB-SpJ, Sp03, T-3   5AB-SpM, Sp01, T-20	5A-Deu, No01, V-15	5A-Eng, No01, T-5	5A-Deu, No01, V-15	5AB-ReK, No01, V-3   5AB-ReE, No02, T-6
<b>4</b>	5AB-SpJ, Sp03, T-3   5AB-SpM, Sp01, T-20	5A-Mus, Mu02, V-18	5A-Eng, No01, T-5	5A-Deu, No01, V-15	5A-Kun, Ku03, V-14
<b>5</b>	5A-Soz, No01, V-8	5A-Kun, Ku02, V-14	5AB-ReK, No02, V-3   5AB-ReE, No01, T-6	5A-Mat, No01, V-5	5A-Eng, No01, T-5
<b>6</b>	5A-Phy, Ph02, T-3	5A-Erd, No01, V-9	5A-Inf, PP03, V-1	X	5A-Erd, No01, V-9
<b>7</b>	5A-BiC, BC03, V-15	X	5AB-SpJ, Sp03, T-3   5AB-SpM, Sp02, T-20	X	5A-Mus, Mu01, V-18
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.64:** Stundenplan der Schulklasse 5B

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5AB-Frz, No02, V-17   5AB-Lat, No01, T-10	5B-Mat, No02, V-22	5B-Erd, No02, V-13	X	5AB-Frz, No01, V-17   5AB-Lat, No02, T-10
<b>2</b>	5B-Soz, No02, V-11	5B-Mat, No02, V-22	5B-Kun, Ku01, T-23	X	5AB-Frz, No01, V-17   5AB-Lat, No02, T-10
<b>3</b>	5AB-SpJ, Sp03, T-3   5AB-SpM, Sp01, T-20	5B-Eng, No02, V-4	5B-Inf, PP03, V-19	5B-Eng, No02, V-4	5AB-ReK, No01, V-3   5AB-ReE, No02, T-6
<b>4</b>	5AB-SpJ, Sp03, T-3   5AB-SpM, Sp01, T-20	5B-Eng, No02, V-4	5B-Soz, No02, V-11	5B-BiC, BC02, T-26	5B-Erd, No02, V-13
<b>5</b>	5B-Kun, Ku01, T-23	5B-BiC, BC02, T-26	5AB-ReK, No02, V-3   5AB-ReE, No01, T-6	5B-Deu, No02, V-7	5B-Mat, No02, V-22
<b>6</b>	5B-Inf, PP03, V-19	5B-Mus, Mu01, V-18	5B-Phy, Ph03, T-6	5B-Deu, No02, V-7	5B-Phy, Ph02, T-6
<b>7</b>	5B-Deu, No02, V-7	X	5AB-SpJ, Sp03, T-3   5AB-SpM, Sp02, T-20	5B-Mus, Mu02, V-18	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.65:** Stundenplan der Schulklasse 5C

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5C-Mat, No03, V-23	5C-Mus, Mu03, T-1	X	X	5CD-ReK, No03, T-4   5CD-ReE, No04, T-25
<b>2</b>	5C-Mat, No03, V-23	5C-Eng, No03, V-4	X	5C-Phy, Ph01, V-1	5C-BiC, BC02, T-14
<b>3</b>	5C-Deu, No03, T-9	5C-Erd, No03, T-10	5C-Kun, Ku01, V-7	5C-Mus, Mu02, T-1	5C-Eng, No03, V-4
<b>4</b>	5C-Deu, No03, T-9	5C-BiC, BC01, T-14	5C-Soz, No03, T-21	5C-Deu, No03, T-9	5C-Eng, No03, V-4
<b>5</b>	5C-Phy, Ph02, V-1	5C-Inf, PP02, V-7	5CD-SpJ, Sp01, V-2   5CD-SpM, Sp01, T-3	5CD-Frz, No03, T-2   5CD-Lat, No04, T-28	5CD-SpJ, Sp02, V-2   5CD-SpM, Sp04, T-3
<b>6</b>	5C-Kun, Ku01, V-7	5CD-Frz, No04, T-2   5CD-Lat, No03, T-28	5CD-SpJ, Sp01, V-2   5CD-SpM, Sp01, T-3	5CD-Frz, No03, T-2   5CD-Lat, No04, T-28	5C-Erd, No03, T-10
<b>7</b>	X	5CD-ReK, No03, T-4   5CD-ReE, No04, T-25	5C-Mat, No03, V-23	5C-Inf, PP03, V-7	5C-Soz, No03, T-21
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.66:** Stundenplan der Schulklasse 5D

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5D-Deu, No04, V-7	5D-Soz, No04, V-11	X	5D-Soz, No04, V-11	5CD-ReK, No03, T-4   5CD-ReE, No04, T-25
<b>2</b>	5D-Deu, No04, V-7	5D-Mus, Mu01, V-2	5D-Deu, No04, V-7	5D-Phy, Ph03, V-19	5D-Kun, Ku03, V-14
<b>3</b>	5D-Eng, No04, T-12	5D-Kun, Ku03, V-14	5D-Inf, PP02, T-17	5D-Mus, Mu01, V-2	5D-Mat, No04, V-20
<b>4</b>	5D-Eng, No04, T-12	5D-Mat, No04, V-20	5D-Eng, No04, T-12	5D-Erd, No04, V-8	5D-Mat, No04, V-20
<b>5</b>	5D-BiC, BC01, T-14	5D-Phy, Ph03, V-19	5CD-SpJ, Sp01, V-2   5CD-SpM, Sp01, T-3	5CD-Frz, No03, T-2   5CD-Lat, No04, T-28	5CD-SpJ, Sp02, V-2   5CD-SpM, Sp04, T-3
<b>6</b>	5D-Erd, No04, V-8	5CD-Frz, No04, T-2   5CD-Lat, No03, T-28	5CD-SpJ, Sp01, V-2   5CD-SpM, Sp01, T-3	5CD-Frz, No03, T-2   5CD-Lat, No04, T-28	X
<b>7</b>	5D-Inf, PP03, T-17	5CD-ReK, No03, T-4   5CD-ReE, No04, T-25	5D-BiC, BC01, T-14	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.67:** Stundenplan der Schulklasse 5E

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5EF-SpJ, Sp03, T-3   5EF-SpM, Sp02, T-29	5EF-Frz, No06, T-34   5EF-Lat, No05, T-5	5E-Kun, Ku01, T-7	5E-Deu, No05, V-7	X
<b>2</b>	5EF-SpJ, Sp03, T-3   5EF-SpM, Sp02, T-29	5EF-Frz, No06, T-34   5EF-Lat, No05, T-5	5E-Inf, PP01, V-9	5E-Deu, No05, V-7	X
<b>3</b>	5E-Phy, Ph01, T-19	5E-Mus, Mu01, V-12	5E-Eng, No05, T-34	5E-Mat, No05, V-20	5E-Mus, Mu01, V-12
<b>4</b>	5E-Kun, Ku01, T-7	5E-BiC, BC03, T-26	5E-Phy, Ph01, T-19	5E-Mat, No05, V-20	5EF-SpJ, Sp03, T-3   5EF-SpM, Sp03, T-29
<b>5</b>	5E-Eng, No05, T-34	5EF-ReK, No06, T-7   5EF-ReE, No05, T-9	5E-Soz, No05, V-8	5E-BiC, BC03, T-26	5E-Inf, PP03, V-9
<b>6</b>	5E-Eng, No05, T-34	5E-Deu, No05, V-7	5E-Erd, No05, V-20	5EF-ReK, No05, T-7   5EF-ReE, No06, T-9	5E-Soz, No05, V-8
<b>7</b>	5E-Erd, No05, V-20	5E-Mat, No05, V-20	X	X	5EF-Frz, No06, T-34   5EF-Lat, No05, T-5
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.68:** Stundenplan der Schulklasse 5F

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5EF-SpJ, Sp03, T-3   5EF-SpM, Sp02, T-29	5EF-Frz, No06, T-34   5EF-Lat, No05, T-5	X	5F-Mat, No06, V-20	5F-Phy, Ph02, V-5
<b>2</b>	5EF-SpJ, Sp03, T-3   5EF-SpM, Sp02, T-29	5EF-Frz, No06, T-34   5EF-Lat, No05, T-5	5F-Soz, No06, V-8	5F-Mat, No06, V-20	5F-Mus, Mu02, V-18
<b>3</b>	5F-Mat, No06, V-20	5F-Eng, No06, T-35	5F-Erd, No06, V-9	5F-BiC, BC01, V-23	5F-Soz, No06, V-8
<b>4</b>	5F-Deu, No06, V-15	5F-Phy, Ph02, V-5	5F-Mus, Mu03, V-18	5F-Inf, PP01, V-10	5EF-SpJ, Sp03, T-3   5EF-SpM, Sp03, T-29
<b>5</b>	5F-Erd, No06, V-9	5EF-ReK, No06, T-7   5EF-ReE, No05, T-9	5F-Deu, No06, V-15	5F-Kun, Ku03, V-14	5F-Eng, No06, T-35
<b>6</b>	5F-Kun, Ku03, V-14	5F-BiC, BC03, V-23	5F-Deu, No06, V-15	5EF-ReK, No05, T-7   5EF-ReE, No06, T-9	5F-Eng, No06, T-35
<b>7</b>	5F-Inf, PP01, V-10	X	X	X	5EF-Frz, No06, T-34   5EF-Lat, No05, T-5
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.69:** Stundenplan der Schulklasse 6A

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	6AB-ReK, No07, V-3   6AB-ReE, No08, T-13	6A-Eng, No07, V-21	6A-Mat, No07, V-20	X	6A-Eng, No07, V-21
<b>2</b>	6A-Kun, Ku02, V-3	6A-Eng, No07, V-21	6A-Mat, No07, V-20	6A-Soz, No07, T-26	6A-Mat, No07, V-20
<b>3</b>	6A-Inf, PP01, V-4	6AB-Frz, No08, T-4   6AB-Lat, No07, T-28	6A-Mus, Mu03, V-18	6AB-SpJ, Sp01, V-3   6AB-SpM, Sp03, T-27	6A-Phy, Ph01, T-3
<b>4</b>	6A-BiC, BC02, T-26	6AB-Frz, No08, T-4   6AB-Lat, No07, T-28	6A-Phy, Ph02, T-3	6AB-SpJ, Sp01, V-3   6AB-SpM, Sp03, T-27	6A-Mus, Mu01, V-18
<b>5</b>	6A-Deu, No07, T-30	6AB-SpJ, Sp04, V-3   6AB-SpM, Sp02, T-27	6A-Inf, PP02, V-4	6A-Deu, No07, T-30	6AB-Frz, No07, T-4   6AB-Lat, No08, T-28
<b>6</b>	6A-Deu, No07, T-30	6A-Erd, No07, T-25	6AB-ReK, No08, V-3   6AB-ReE, No07, T-13	6A-BiC, BC03, T-26	X
<b>7</b>	6A-Soz, No07, T-26	X	6A-Kun, Ku03, V-3	6A-Erd, No07, T-25	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.70:** Stundenplan der Schulklasse 6B

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	6AB-ReK, No07, V-3   6AB-ReE, No08, T-13	6B-Deu, No08, V-6	6B-Kun, Ku02, V-3	X	X
<b>2</b>	6B-Soz, No08, V-5	6B-Deu, No08, V-6	6B-Eng, No08, V-13	X	6B-Mat, No08, V-22
<b>3</b>	6B-BiC, BC01, V-22	6AB-Frz, No08, T-4   6AB-Lat, No07, T-28	6B-Mat, No08, V-22	6AB-SpJ, Sp01, V-3   6AB-SpM, Sp03, T-27	6B-Inf, PP03, V-2
<b>4</b>	6B-Kun, Ku02, V-3	6AB-Frz, No08, T-4   6AB-Lat, No07, T-28	6B-Mat, No08, V-22	6AB-SpJ, Sp01, V-3   6AB-SpM, Sp03, T-27	6B-Mus, Mu03, V-2
<b>5</b>	6B-Eng, No08, V-13	6AB-SpJ, Sp04, V-3   6AB-SpM, Sp02, T-27	6B-Phy, Ph02, T-21	6B-BiC, BC01, V-22	6AB-Frz, No07, T-4   6AB-Lat, No08, T-28
<b>6</b>	6B-Eng, No08, V-13	6B-Mus, Mu03, V-2	6AB-ReK, No08, V-3   6AB-ReE, No07, T-13	6B-Deu, No08, V-6	6B-Phy, Ph03, T-21
<b>7</b>	X	6B-Inf, PP01, V-2	6B-Erd, No08, V-14	6B-Soz, No08, V-5	6B-Erd, No08, V-14
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.71: Stundenplan der Schulklasse 6C**

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	6C-Inf, PP01, V-2	6CD-Frz, No09, V-6   6CD-Lat, No10, V-21	X	X
<b>2</b>	6CD-Frz, No10, V-6   6CD-Lat, No09, V-21	6C-Soz, No09, T-1	6CD-Frz, No09, V-6   6CD-Lat, No10, V-21	6C-Inf, PP03, V-2	6C-Erd, No09, T-13
<b>3</b>	6C-Phy, Ph03, T-24	6CD-SpJ, Sp04, T-27   6CD-SpM, Sp01, T-29	6C-BiC, BC01, V-15	6CD-ReK, No10, T-7   6CD-ReE, No09, T-9	6C-BiC, BC02, V-15
<b>4</b>	6C-Mus, Mu03, T-21	6CD-SpJ, Sp04, T-27   6CD-SpM, Sp01, T-29	6C-Erd, No09, T-13	6C-Mus, Mu03, T-21	6C-Kun, Ku01, S-1
<b>5</b>	6C-Deu, No09, T-17	6C-Mat, No09, V-20	6C-Eng, No09, V-21	6C-Soz, No09, T-1	6C-Deu, No09, T-17
<b>6</b>	6C-Eng, No09, V-21	6C-Mat, No09, V-20	6C-Eng, No09, V-21	6C-Mat, No09, V-20	6C-Deu, No09, T-17
<b>7</b>	6CD-ReK, No09, T-7   6CD-ReE, No10, T-9	6C-Kun, Ku03, S-1	X	6C-Phy, Ph03, T-24	6CD-SpJ, Sp04, T-27   6CD-SpM, Sp03, T-29
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.72:** Stundenplan der Schulklasse 6D

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	6D-BiC, BC03, V-15	6CD-Frz, No09, V-6   6CD-Lat, No10, V-21	6D-Soz, No10, V-17	6D-Mat, No10, T-1
<b>2</b>	6CD-Frz, No10, V-6   6CD-Lat, No09, V-21	6D-Inf, PP01, V-1	6CD-Frz, No09, V-6   6CD-Lat, No10, V-21	6D-Deu, No10, V-15	6D-Mus, Mu03, V-16
<b>3</b>	6D-Erd, No10, V-13	6CD-SpJ, Sp04, T-27   6CD-SpM, Sp01, T-29	6D-Mus, Mu02, V-16	6CD-ReK, No10, T-7   6CD-ReE, No09, T-9	6D-Kun, Ku01, T-14
<b>4</b>	6D-Kun, Ku03, T-14	6CD-SpJ, Sp04, T-27   6CD-SpM, Sp01, T-29	6D-Phy, Ph03, V-5	6D-Erd, No10, V-13	6D-Eng, No10, V-12
<b>5</b>	6D-Deu, No10, V-15	6D-Mat, No10, T-1	6D-Eng, No10, V-12	6D-Inf, PP03, V-1	6D-Phy, Ph03, V-5
<b>6</b>	6D-Deu, No10, V-15	6D-Mat, No10, T-1	6D-Eng, No10, V-12	X	6D-BiC, BC01, V-15
<b>7</b>	6CD-ReK, No09, T-7   6CD-ReE, No10, T-9	6D-Soz, No10, V-17	X	X	6CD-SpJ, Sp04, T-27   6CD-SpM, Sp03, T-29
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.73:** Stundenplan der Schulklasse 6E

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	6E-Mat, No11, V-22	X	6E-Erd, No11, V-14	6E-Eng, No11, T-5	X
<b>2</b>	6E-Mat, No11, V-22	X	6E-Phy, Ph02, T-21	6E-Eng, No11, T-5	6E-Phy, Ph01, T-21
<b>3</b>	6E-Inf, PP02, T-17	6EF-ReK, No12, V-22   6EF-ReE, No11, T-18	6E-Soz, No11, V-5	6EF-Frz, No12, T-2   6EF-Lat, No11, T-22	6E-Soz, No11, V-5
<b>4</b>	6E-Erd, No11, V-14	6E-Deu, No11, V-6	6E-Inf, PP03, T-17	6EF-Frz, No12, T-2   6EF-Lat, No11, T-22	6EF-ReK, No12, V-22   6EF-ReE, No11, T-18
<b>5</b>	6EF-Frz, No11, T-2   6EF-Lat, No12, T-22	6E-Eng, No11, T-5	6EF-SpJ, Sp04, V-18   6EF-SpM, Sp03, T-20	6E-BiC, BC02, V-23	6E-Deu, No11, V-6
<b>6</b>	6E-Mus, Mu03, T-13	6E-Kun, Ku03, T-7	6EF-SpJ, Sp04, V-18   6EF-SpM, Sp03, T-20	6E-Mat, No11, V-22	6E-Deu, No11, V-6
<b>7</b>	6EF-SpJ, Sp01, V-18   6EF-SpM, Sp03, T-20	6E-BiC, BC02, V-23	X	6E-Kun, Ku02, T-7	6E-Mus, Mu02, T-13
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.74:** Stundenplan der Schulklasse 6F

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	6F-Mus, Mu03, V-21	6F-Mat, No12, T-11	X	6F-BiC, BC02, V-19	6F-Deu, No12, T-9
<b>2</b>	6F-Phy, Ph03, V-19	6F-Mat, No12, T-11	6F-Phy, Ph03, V-19	6F-Soz, No12, V-11	6F-Deu, No12, T-9
<b>3</b>	6F-Eng, No12, T-34	6EF-ReK, No12, V-22   6EF-ReE, No11, T-18	6F-Kun, Ku02, V-10	6EF-Frz, No12, T-2   6EF-Lat, No11, T-22	6F-Kun, Ku02, V-10
<b>4</b>	6F-Eng, No12, T-34	6F-Deu, No12, T-9	6F-Mus, Mu02, V-21	6EF-Frz, No12, T-2   6EF-Lat, No11, T-22	6EF-ReK, No12, V-22   6EF-ReE, No11, T-18
<b>5</b>	6EF-Frz, No11, T-2   6EF-Lat, No12, T-22	6F-Inf, PP03, V-4	6EF-SpJ, Sp04, V-18   6EF-SpM, Sp03, T-20	6F-Mat, No12, T-11	6F-Eng, No12, T-34
<b>6</b>	6F-Erd, No12, V-20	6F-Soz, No12, V-11	6EF-SpJ, Sp04, V-18   6EF-SpM, Sp03, T-20	X	6F-Inf, PP03, V-4
<b>7</b>	6EF-SpJ, Sp01, V-18   6EF-SpM, Sp03, T-20	6F-BiC, BC03, V-19	X	X	6F-Erd, No12, V-20
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.75:** Stundenplan der Schulklasse 7A

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	7A-BiC, BC02, V-23	7AB-Frz, No14, T-4   7AB-Lat, No13, T-5	7A-Eng, No13, T-12	7AB-SpJ, Sp02, V-11   7AB-SpM, Sp04, T-20
<b>2</b>	7A-Erd, No13, V-9	7A-Inf, PP03, S-1	7AB-Frz, No14, T-4   7AB-Lat, No13, T-5	7A-Eng, No13, T-12	7AB-SpJ, Sp02, V-11   7AB-SpM, Sp04, T-20
<b>3</b>	7A-Mat, No13, V-16	7A-Soz, No13, V-18	7A-Phy, Ph03, V-1	7A-Inf, PP02, S-1	7A-Soz, No13, V-18
<b>4</b>	7A-Mat, No13, V-16	7AB-SpJ, Sp04, V-11   7AB-SpM, Sp03, T-20	7AB-ReK, No13, T-16   7AB-ReE, No14, T-23	7A-BiC, BC03, V-23	7A-Mus, Mu02, V-17
<b>5</b>	7A-Eng, No13, T-12	7A-Deu, No13, V-15	7A-Kun, Ku02, V-16	7A-Deu, No13, V-15	7A-Kun, Ku03, V-16
<b>6</b>	7AB-ReK, No13, T-16   7AB-ReE, No14, T-23	7A-Mus, Mu02, V-17	7A-Erd, No13, V-9	7A-Deu, No13, V-15	7AB-Frz, No13, T-4   7AB-Lat, No14, T-5
<b>7</b>	7A-Phy, Ph01, V-1	X	X	X	7A-Mat, No13, V-16
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.76:** Stundenplan der Schulklasse 7B

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	7B-Phy, Ph02, T-21	7B-Deu, No14, T-8	7AB-Frz, No14, T-4   7AB-Lat, No13, T-5	7B-Deu, No14, T-8	7AB-SpJ, Sp02, V-11   7AB-SpM, Sp04, T-20
<b>2</b>	7B-Kun, Ku01, T-7	7B-Deu, No14, T-8	7AB-Frz, No14, T-4   7AB-Lat, No13, T-5	7B-Mus, Mu03, V-17	7AB-SpJ, Sp02, V-11   7AB-SpM, Sp04, T-20
<b>3</b>	7B-Erd, No14, T-22	7B-Soz, No14, T-20	7B-Inf, PP01, T-33	7B-BiC, BC03, V-22	7B-Phy, Ph03, T-21
<b>4</b>	7B-Eng, No14, T-31	7AB-SpJ, Sp04, V-11   7AB-SpM, T-16   7AB-ReE, Sp03, T-20	7AB-ReK, No13, No14, T-23	7B-Kun, Ku03, T-7	7B-Inf, PP01, T-33
<b>5</b>	7B-Mus, Mu02, V-17	7B-BiC, BC01, V-22	7B-Eng, No14, T-31	7B-Mat, No14, T-27	7B-Soz, No14, T-20
<b>6</b>	7AB-ReK, No13, T-16   7AB-ReE, No14, T-23	7B-Mat, No14, T-27	7B-Eng, No14, T-31	7B-Mat, No14, T-27	7AB-Frz, No13, T-4   7AB-Lat, No14, T-5
<b>7</b>	X	X	7B-Erd, No14, T-22	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.77:** Stundenplan der Schulklasse 7C

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	7C-Mus, Mu02, V-16	7C-Deu, No15, T-12	7C-Mat, No15, T-32	7C-Inf, PP01, T-6
<b>2</b>	7C-Deu, No15, T-12	7C-Phy, Ph03, V-19	7C-Deu, No15, T-12	7C-Kun, Ku01, V-16	7C-Eng, No15, V-4
<b>3</b>	7C-Erd, No15, V-14	7C-Mat, No15, T-32	7C-Eng, No15, V-4	7CD-SpJ, Sp02, V-1   7CD-SpM, Sp01, T-24	7CD-Frz, No16, V-6   7CD-Lat, No15, T-28
<b>4</b>	7C-BiC, BC03, V-22	7C-Mat, No15, T-32	7C-Eng, No15, V-4	7CD-SpJ, Sp02, V-1   7CD-SpM, Sp01, T-24	7CD-Frz, No16, V-6   7CD-Lat, No15, T-28
<b>5</b>	7C-Soz, No15, V-18	7CD-Frz, No16, V-6   7CD-Lat, No15, T-28	7C-Erd, No15, V-14	7C-Soz, No15, V-18	7C-Phy, Ph01, V-19
<b>6</b>	7CD-SpJ, Sp02, V-1   7CD-SpM, Sp04, T-24	7C-Inf, PP01, T-6	7C-BiC, BC03, V-22	7CD-ReK, No16, V-3   7CD-ReE, No15, T-16	X
<b>7</b>	7C-Kun, Ku02, V-16	7CD-ReK, No16, V-3   7CD-ReE, No15, T-16	X	7C-Mus, Mu01, V-16	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.78:** Stundenplan der Schulklasse 7D

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	7D-Phy, Ph01, T-23	7D-Deu, No16, V-7	X	X	7D-Kun, Ku01, V-10
<b>2</b>	7D-Inf, PP03, V-4	7D-Deu, No16, V-7	X	X	7D-Eng, No16, V-12
<b>3</b>	7D-Eng, No16, V-12	7D-Soz, No16, V-20	7D-Mat, No16, T-18	7CD-SpJ, Sp02, V-1   7CD-SpM, Sp01, T-24	7CD-Frz, No16, V-6   7CD-Lat, No15, T-28
<b>4</b>	7D-Eng, No16, V-12	7D-Kun, Ku01, V-10	7D-Mat, No16, T-18	7CD-SpJ, Sp02, V-1   7CD-SpM, Sp01, T-24	7CD-Frz, No16, V-6   7CD-Lat, No15, T-28
<b>5</b>	7D-Mus, Mu01, V-16	7CD-Frz, No16, V-6   7CD-Lat, No15, T-28	7D-Phy, Ph01, T-23	7D-Mus, Mu02, V-16	7D-BiC, BC02, T-14
<b>6</b>	7CD-SpJ, Sp02, V-1   7CD-SpM, Sp04, T-24	7D-BiC, BC02, T-14	7D-Inf, PP01, V-4	7CD-ReK, No16, V-3   7CD-ReE, No15, T-16	7D-Deu, No16, V-7
<b>7</b>	7D-Mat, No16, T-18	7CD-ReK, No16, V-3   7CD-ReE, No15, T-16	7D-Erd, No16, V-8	7D-Soz, No16, V-20	7D-Erd, No16, V-8
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.79:** Stundenplan der Schulklasse 7E

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	7E-Erd, No17, V-9	7E-Mat, No17, T-27	7EF-SpJ, Sp02, V-11   7EF-SpM, Sp01, T-20	X	7E-Mat, No17, T-27
<b>2</b>	7E-Phy, Ph02, T-8	7E-Inf, PP02, V-9	7EF-SpJ, Sp02, V-11   7EF-SpM, Sp01, T-20	7E-Mus, Mu02, V-12	7E-Mat, No17, T-27
<b>3</b>	7E-Deu, No17, V-10	7E-BiC, BC01, T-2	7E-Phy, Ph02, T-8	7E-Soz, No17, V-8	7EF-SpJ, Sp03, V-11   7EF-SpM, Sp01, T-20
<b>4</b>	7E-Deu, No17, V-10	7E-Soz, No17, V-8	7E-Eng, No17, V-13	7EF-ReK, No18, V-6   7EF-ReE, No17, T-25	7E-BiC, BC03, T-2
<b>5</b>	7EF-ReK, No17, V-6   7EF-ReE, No18, T-25	7E-Kun, Ku01, T-15	7EF-Frz, No18, V-17   7EF-Lat, No17, T-19	7E-Erd, No17, V-9	7E-Eng, No17, V-13
<b>6</b>	7EF-Frz, No18, V-17   7EF-Lat, No17, T-19	X	7EF-Frz, No18, V-17   7EF-Lat, No17, T-19	7E-Kun, Ku03, T-15	7E-Eng, No17, V-13
<b>7</b>	7E-Mus, Mu03, V-12	X	7E-Deu, No17, V-10	X	7E-Inf, PP01, V-9
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.80:** Stundenplan der Schulklasse 7F

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	7F-Mus, Mu02, V-2	7F-Eng, No18, V-13	7EF-SpJ, Sp02, V-11   7EF-SpM, Sp01, T-20	7F-Mus, Mu03, V-2	7F-Soz, No18, V-9
<b>2</b>	7F-Inf, PP01, V-2	7F-Eng, No18, V-13	7EF-SpJ, Sp02, V-11   7EF-SpM, Sp01, T-20	7F-Eng, No18, V-13	7F-Kun, Ku02, V-3
<b>3</b>	7F-Mat, No18, V-23	7F-Soz, No18, V-9	7F-BiC, BC03, V-23	7F-Phy, Ph01, T-23	7EF-SpJ, Sp03, V-11   7EF-SpM, Sp01, T-20
<b>4</b>	7F-Mat, No18, V-23	7F-Kun, Ku03, V-3	7F-Inf, PP02, V-2	7EF-ReK, No18, V-6   7EF-ReE, No17, T-25	7F-Erd, No18, T-13
<b>5</b>	7EF-ReK, No17, V-6   7EF-ReE, No18, T-25	7F-Deu, No18, T-8	7EF-Frz, No18, V-17   7EF-Lat, No17, T-19	7F-Deu, No18, T-8	7F-BiC, BC01, V-23
<b>6</b>	7EF-Frz, No18, V-17   7EF-Lat, No17, T-19	7F-Phy, Ph02, T-23	7EF-Frz, No18, V-17   7EF-Lat, No17, T-19	7F-Deu, No18, T-8	X
<b>7</b>	X	X	7F-Erd, No18, T-13	7F-Mat, No18, V-23	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.81:** Stundenplan der Schulklasse 8A

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8A-Eng, No19, T-30	X	8A-BiC, BC03, V-19	8A-Kun, Ku03, T-9	8A-BiC, BC03, V-19
<b>2</b>	8A-Eng, No19, T-30	X	8A-Eng, No19, T-30	8AB-ReK, No20, T-8   8AB-ReE, No19, T-25	8A-Inf, PP03, V-19
<b>3</b>	8A-Mat, No19, T-32	8AB-SpJ, Sp04, V-2   8AB-SpM, Sp03, V-11	8AB-Frz, No19, T-35   8AB-Lat, No20, T-10	8A-Mat, No19, T-32	8A-Mus, Mu03, T-31
<b>4</b>	8A-Mat, No19, T-32	8AB-ReK, No19, T-8   8AB-ReE, No20, T-25	8AB-Frz, No19, T-35   8AB-Lat, No20, T-10	8A-Soz, No19, V-5	8A-Phy, Ph01, T-32
<b>5</b>	8A-Inf, PP01, V-19	8A-Mus, Mu01, T-31	8A-Deu, No19, V-10	8AB-SpJ, Sp01, V-2   8AB-SpM, Sp04, V-11	8A-Erd, No19, T-12
<b>6</b>	8A-Phy, Ph01, T-32	8A-Kun, Ku02, T-9	8A-Deu, No19, V-10	8AB-SpJ, Sp01, V-2   8AB-SpM, Sp04, V-11	8A-Deu, No19, V-10
<b>7</b>	X	8A-Soz, No19, V-5	8A-Erd, No19, T-12	X	8AB-Frz, No19, T-35   8AB-Lat, No20, T-10
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.82:** Stundenplan der Schulklasse 8B

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8B-Deu, No20, T-28	8B-Mat, No20, T-18	X	8B-Eng, No20, V-12	X
<b>2</b>	8B-Deu, No20, T-28	8B-Mat, No20, T-18	X	8AB-ReK, No20, T-8   8AB-ReE, No19, T-25	X
<b>3</b>	8B-BiC, BC02, T-26	8AB-SpJ, Sp04, V-2   8AB-SpM, Sp03, V-11	8AB-Frz, No19, T-35   8AB-Lat, No20, T-10	8B-Kun, Ku02, V-14	8B-Inf, PP01, T-17
<b>4</b>	8B-Soz, No20, V-18	8AB-ReK, No19, T-8   8AB-ReE, No20, T-25	8AB-Frz, No19, T-35   8AB-Lat, No20, T-10	8B-Phy, Ph01, V-19	8B-Erd, No20, T-10
<b>5</b>	8B-Kun, Ku03, V-14	8B-Eng, No20, V-12	8B-BiC, BC03, T-26	8AB-SpJ, Sp01, V-2   8AB-SpM, Sp04, V-11	8B-Mus, Mu03, T-1
<b>6</b>	8B-Inf, PP01, T-17	8B-Eng, No20, V-12	8B-Erd, No20, T-10	8AB-SpJ, Sp01, V-2   8AB-SpM, Sp04, V-11	8B-Mat, No20, T-18
<b>7</b>	8B-Phy, Ph02, V-19	8B-Mus, Mu03, T-1	8B-Soz, No20, V-18	8B-Deu, No20, T-28	8AB-Frz, No19, T-35   8AB-Lat, No20, T-10
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.83:** Stundenplan der Schulklasse 8C

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8C-Erd, No21, V-8	X	8C-Mat, No21, V-22	8CD-SpJ, Sp03, V-18   8CD-SpM, Sp01, T-11	8C-Deu, No21, T-14
<b>2</b>	8C-Mus, Mu02, V-17	X	8C-Mat, No21, V-22	8CD-SpJ, Sp03, V-18   8CD-SpM, Sp01, T-11	8C-Erd, No21, V-8
<b>3</b>	8CD-Frz, No22, V-6   8CD-Lat, No21, T-10	8C-BiC, BC02, V-23	8C-Phy, Ph01, T-21	8C-Eng, No21, V-21	8C-BiC, BC01, V-23
<b>4</b>	8CD-Frz, No22, V-6   8CD-Lat, No21, T-10	8C-Soz, No21, T-33	8C-Mus, Mu01, V-17	8C-Eng, No21, V-21	8C-Phy, Ph03, T-21
<b>5</b>	8C-Eng, No21, V-21	8CD-ReK, No21, T-25   8CD-ReE, No22, T-29	8C-Deu, No21, T-14	8CD-ReK, No22, T-25   8CD-ReE, No21, T-29	8C-Inf, PP01, T-2
<b>6</b>	8C-Mat, No21, V-22	8C-Kun, Ku01, T-15	8C-Deu, No21, T-14	X	8C-Kun, Ku03, T-15
<b>7</b>	8C-Inf, PP02, T-2	8CD-SpJ, Sp04, V-18   8CD-SpM, Sp03, T-11	8CD-Frz, No22, V-6   8CD-Lat, No21, T-10	X	8C-Soz, No21, T-33
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.84:** Stundenplan der Schulklasse 8D

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8D-Deu, No22, T-12	X	8D-Soz, No22, T-21	8CD-SpJ, Sp03, V-18   8CD-SpM, Sp01, T-11	8D-Inf, PP02, V-12
<b>2</b>	8D-Mus, Mu03, T-13	X	8D-BiC, BC02, V-23	8CD-SpJ, Sp03, V-18   8CD-SpM, Sp01, T-11	8D-BiC, BC01, V-23
<b>3</b>	8CD-Frz, No22, V-6   8CD-Lat, No21, T-10	8D-Mat, No22, T-11	8D-Erd, No22, T-13	8D-Mus, Mu03, T-13	8D-Deu, No22, T-12
<b>4</b>	8CD-Frz, No22, V-6   8CD-Lat, No21, T-10	8D-Mat, No22, T-11	8D-Kun, Ku01, V-7	8D-Phy, Ph03, T-19	8D-Deu, No22, T-12
<b>5</b>	8D-Inf, PP02, V-12	8CD-ReK, No21, T-25   8CD-ReE, No22, T-29	8D-Eng, No22, V-13	8CD-ReK, No22, T-25   8CD-ReE, No21, T-29	8D-Kun, Ku02, V-7
<b>6</b>	8D-Soz, No22, T-21	8D-Phy, Ph01, T-19	8D-Eng, No22, V-13	8D-Mat, No22, T-11	8D-Erd, No22, T-13
<b>7</b>	X	8CD-SpJ, Sp04, V-18   8CD-SpM, Sp03, T-11	8CD-Frz, No22, V-6   8CD-Lat, No21, T-10	X	8D-Eng, No22, V-13
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.85:** Stundenplan der Schulklasse 8E

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8EF-Frz, No23, T-34   8EF-Lat, No24, T-22	8E-Kun, Ku02, T-15	8E-Eng, No23, V-4	8E-Kun, Ku01, T-15	8EF-SpJ, Sp03, T-24   8EF-SpM, Sp02, T-33
<b>2</b>	8EF-Frz, No23, T-34   8EF-Lat, No24, T-22	8E-Phy, Ph01, T-6	8E-Eng, No23, V-4	8E-Deu, No23, T-9	8EF-SpJ, Sp03, T-24   8EF-SpM, Sp02, T-33
<b>3</b>	8EF-ReK, No24, T-18   8EF-ReE, No23, T-23	8E-Soz, No23, T-33	8E-Mus, Mu01, V-21	8E-Phy, Ph03, T-6	8EF-Frz, No24, T-34   8EF-Lat, No23, T-22
<b>4</b>	8E-Inf, PP03, T-2	8E-BiC, BC02, V-22	8E-Erd, No23, V-14	8E-BiC, BC01, V-22	8E-Mat, No23, V-16
<b>5</b>	8E-Deu, No23, T-9	8E-Mat, No23, V-16	8EF-SpJ, Sp02, T-24   8EF-SpM, Sp03, T-33	8E-Soz, No23, T-33	8E-Eng, No23, V-4
<b>6</b>	8E-Deu, No23, T-9	8E-Mat, No23, V-16	8EF-ReK, No24, T-18   8EF-ReE, No23, T-23	X	8E-Erd, No23, V-14
<b>7</b>	8E-Mus, Mu01, V-21	X	X	X	8E-Inf, PP03, T-2
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.86:** Stundenplan der Schulklasse 8F

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8EF-Frz, No23, T-34   8EF-Lat, No24, T-22	8F-BiC, BC01, V-19	8F-Deu, No24, T-17	X	8EF-SpJ, Sp03, T-24   8EF-SpM, Sp02, T-33
<b>2</b>	8EF-Frz, No23, T-34   8EF-Lat, No24, T-22	8F-Kun, Ku01, V-10	8F-Deu, No24, T-17	8F-Phy, Ph02, T-24	8EF-SpJ, Sp03, T-24   8EF-SpM, Sp02, T-33
<b>3</b>	8EF-ReK, No24, T-18   8EF-ReE, No23, T-23	8F-Mus, Mu03, T-31	8F-Mat, No24, V-20	8F-BiC, BC02, V-19	8EF-Frz, No24, T-34   8EF-Lat, No23, T-22
<b>4</b>	8F-Mat, No24, V-20	8F-Eng, No24, T-31	8F-Mat, No24, V-20	8F-Inf, PP03, V-4	8F-Deu, No24, T-17
<b>5</b>	8F-Phy, Ph03, T-24	8F-Soz, No24, V-8	8EF-SpJ, Sp02, T-24   8EF-SpM, Sp03, T-33	8F-Kun, Ku02, V-10	8F-Eng, No24, T-31
<b>6</b>	8F-Inf, PP02, V-4	X	8EF-ReK, No24, T-18   8EF-ReE, No23, T-23	8F-Soz, No24, V-8	8F-Eng, No24, T-31
<b>7</b>	8F-Erd, No24, V-8	X	X	8F-Erd, No24, V-8	8F-Mus, Mu03, T-31
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.87:** Stundenplan der Schulklasse 9A

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	9A-Mat, No25, V-16	9A-Kun, Ku03, V-10	9AB-Frz, No26, T-35   9AB-Lat, No25, T-16	9A-BiC, BC03, T-26	9A-Eng, No25, V-13
<b>2</b>	9A-Mat, No25, V-16	9A-BiC, BC03, T-26	9AB-Frz, No26, T-35   9AB-Lat, No25, T-16	9AB-ReK, No25, T-7   9AB-ReE, No26, T-16	9A-Eng, No25, V-13
<b>3</b>	9AB-ReK, No25, T-7   9AB-ReE, No26, T-16	9A-Eng, No25, V-13	9A-Deu, No25, T-30	9A-Kun, Ku01, V-10	9A-Erd, No25, T-13
<b>4</b>	9A-Inf, PP01, V-1	9A-Mus, Mu03, V-17	9A-Deu, No25, T-30	9A-Mus, Mu01, V-17	9A-Phy, Ph02, V-1
<b>5</b>	9AB-Frz, No25, T-35   9AB-Lat, No26, T-16	9A-Phy, Ph02, V-1	9A-Erd, No25, T-13	9AB-SpJ, Sp02, T-3   9AB-SpM, Sp02, T-24	9A-Deu, No25, T-30
<b>6</b>	9A-Soz, No25, V-18	X	9A-Mat, No25, V-16	9AB-SpJ, Sp02, T-3   9AB-SpM, Sp02, T-24	9A-Soz, No25, V-18
<b>7</b>	9AB-SpJ, Sp01, T-3   9AB-SpM, Sp02, T-24	X	9A-Inf, PP02, V-1	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.88:** Stundenplan der Schulklasse 9B

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	9AB-Frz, No26, T-35   9AB-Lat, No25, T-16	9B-BiC, BC01, V-15	9B-Mat, No26, T-18
<b>2</b>	9B-Mus, Mu01, S-1	X	9AB-Frz, No26, T-35   9AB-Lat, No25, T-16	9AB-ReK, No25, T-7   9AB-ReE, No26, T-16	9B-Mat, No26, T-18
<b>3</b>	9AB-ReK, No25, T-7   9AB-ReE, No26, T-16	9B-Phy, Ph02, V-1	9B-Deu, No26, V-11	9B-Inf, PP03, T-33	9B-Eng, No26, T-30
<b>4</b>	9B-Eng, No26, T-30	9B-Kun, Ku02, T-23	9B-Erd, No26, V-9	9B-Kun, Ku02, T-23	9B-Eng, No26, T-30
<b>5</b>	9AB-Frz, No25, T-35   9AB-Lat, No26, T-16	9B-Soz, No26, V-17	9B-Mat, No26, T-18	9AB-SpJ, Sp02, T-3   9AB-SpM, Sp02, T-24	9B-Deu, No26, V-11
<b>6</b>	9B-Erd, No26, V-9	9B-Inf, PP02, T-33	9B-Mus, Mu02, S-1	9AB-SpJ, Sp02, T-3   9AB-SpM, Sp02, T-24	9B-Deu, No26, V-11
<b>7</b>	9AB-SpJ, Sp01, T-3   9AB-SpM, Sp02, T-24	9B-BiC, BC01, V-15	X	9B-Phy, Ph01, V-1	9B-Soz, No26, V-17
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.89: Stundenplan der Schulklasse 9C**

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	9CD-Frz, No28, T-4   9CD-Lat, No27, T-29	9C-Mus, Mu02, V-12	9CD-SpJ, Sp03, V-3   9CD-SpM, Sp01, T-29	9C-Erd, No27, V-14
<b>2</b>	X	9CD-Frz, No28, T-4   9CD-Lat, No27, T-29	9C-Phy, Ph01, T-19	9CD-SpJ, Sp03, V-3   9CD-SpM, Sp01, T-29	9C-Mat, No27, V-5
<b>3</b>	9CD-SpJ, Sp03, V-3   9CD-SpM, Sp04, T-29	9C-Inf, PP02, V-10	9C-Deu, No27, T-24	9C-Eng, No27, T-16	9CD-Frz, No28, T-4   9CD-Lat, No27, T-29
<b>4</b>	9C-Eng, No27, T-16	9C-Erd, No27, V-14	9C-Deu, No27, T-24	9C-Eng, No27, T-16	9CD-ReK, No27, T-4   9CD-ReE, No28, T-6
<b>5</b>	9C-Phy, Ph01, T-19	9CD-ReK, No27, T-4   9CD-ReE, No28, T-6	9C-Mat, No27, V-5	9C-Soz, No27, V-8	9C-Inf, PP02, V-10
<b>6</b>	9C-Mus, Mu02, V-12	9C-Soz, No27, V-8	9C-Mat, No27, V-5	9C-Kun, Ku01, V-16	9C-Deu, No27, T-24
<b>7</b>	9C-BiC, BC02, V-22	9C-Kun, Ku01, V-16	9C-BiC, BC03, V-22	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.90:** Stundenplan der Schulklasse 9D

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	9D-Kun, Ku03, T-7	9CD-Frz, No28, T-4   9CD-Lat, No27, T-29	X	9CD-SpJ, Sp03, V-3   9CD-SpM, Sp01, T-29	9D-Deu, No28, T-22
<b>2</b>	9D-Soz, No28, V-20	9CD-Frz, No28, T-4   9CD-Lat, No27, T-29	9D-Kun, Ku03, T-7	9CD-SpJ, Sp03, V-3   9CD-SpM, Sp01, T-29	9D-Deu, No28, T-22
<b>3</b>	9CD-SpJ, Sp03, V-3   9CD-SpM, Sp04, T-29	9D-Phy, Ph03, T-6	9D-Eng, No28, V-12	9D-Inf, PP01, T-17	9CD-Frz, No28, T-4   9CD-Lat, No27, T-29
<b>4</b>	9D-Inf, PP02, T-17	9D-Erd, No28, V-13	9D-Eng, No28, V-12	9D-Phy, Ph02, T-6	9CD-ReK, No27, T-4   9CD-ReE, No28, T-6
<b>5</b>	9D-Mat, No28, V-5	9CD-ReK, No27, T-4   9CD-ReE, No28, T-6	9D-Soz, No28, V-20	9D-Erd, No28, V-13	9D-BiC, BC03, T-11
<b>6</b>	9D-Mat, No28, V-5	X	9D-BiC, BC02, T-11	9D-Mat, No28, V-5	9D-Mus, Mu01, V-17
<b>7</b>	9D-Deu, No28, T-22	X	9D-Mus, Mu02, V-17	X	9D-Eng, No28, V-12
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.91:** Stundenplan der Schulklasse 9E

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	9E-Deu, No29, T-35	9E-Phy, Ph03, V-1	9E-Mat, No29, T-18	9EF-Frz, No29, T-2   9EF-Lat, No30, T-28	X
<b>2</b>	9E-Deu, No29, T-35	9EF-Frz, No29, T-2   9EF-Lat, No30, T-28	9E-Mat, No29, T-18	9EF-Frz, No29, T-2   9EF-Lat, No30, T-28	9E-BiC, BC03, V-15
<b>3</b>	9E-BiC, BC03, V-15	9EF-ReK, No30, T-7   9EF-ReE, No29, T-23	9E-Soz, No29, T-15	9E-Eng, No29, V-13	9E-Soz, No29, T-15
<b>4</b>	9E-Mat, No29, T-18	9E-Inf, PP03, V-2	9E-Kun, Ku02, V-16	9E-Erd, No29, V-9	9EF-SpJ, Sp02, V-3   9EF-SpM, Sp04, V-11
<b>5</b>	9EF-SpJ, Sp01, V-3   9EF-SpM, Sp03, V-11	9E-Eng, No29, V-13	9E-Deu, No29, T-35	9EF-ReK, No29, T-7   9EF-ReE, No30, T-23	9E-Mus, Mu02, V-21
<b>6</b>	9EF-SpJ, Sp01, V-3   9EF-SpM, Sp03, V-11	9E-Eng, No29, V-13	X	9E-Phy, Ph02, V-1	9E-Kun, Ku02, V-16
<b>7</b>	9E-Erd, No29, V-9	9E-Mus, Mu02, V-21	X	X	9E-Inf, PP02, V-2
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.92:** Stundenplan der Schulklasse 9F

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	9F-Inf, PP03, V-12	9F-Erd, No30, T-25	X	9EF-Frz, No29, T-2   9EF-Lat, No30, T-28	9F-Eng, No30, T-31
<b>2</b>	9F-Kun, Ku03, V-14	9EF-Frz, No29, T-2   9EF-Lat, No30, T-28	9F-Inf, PP03, V-12	9EF-Frz, No29, T-2   9EF-Lat, No30, T-28	9F-Eng, No30, T-31
<b>3</b>	9F-Mus, Mu03, V-2	9EF-ReK, No30, T-7   9EF-ReE, No29, T-23	9F-Kun, Ku03, V-14	9F-Erd, No30, T-25	9F-Mat, No30, T-27
<b>4</b>	9F-Soz, No30, V-17	9F-Phy, Ph03, V-1	9F-BiC, BC02, V-19	9F-Mus, Mu02, V-2	9EF-SpJ, Sp02, V-3   9EF-SpM, Sp04, V-11
<b>5</b>	9EF-SpJ, Sp01, V-3   9EF-SpM, Sp03, V-11	9F-Deu, No30, V-10	9F-Mat, No30, T-27	9EF-ReK, No29, T-7   9EF-ReE, No30, T-23	9F-Phy, Ph02, V-1
<b>6</b>	9EF-SpJ, Sp01, V-3   9EF-SpM, Sp03, V-11	9F-Deu, No30, V-10	9F-Mat, No30, T-27	9F-Soz, No30, V-17	9F-BiC, BC03, V-19
<b>7</b>	9F-Eng, No30, T-31	X	X	X	9F-Deu, No30, V-10
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.93:** Stundenplan der Schulklasse 10A

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	10A-Mat, No31, T-1	X	X	10A-Eng, No31, V-4	10AB-SpJ, Sp01, V-2   10AB-SpM, Sp03, T-11
<b>2</b>	10A-Mat, No31, T-1	10A-Kun, Ku03, T-15	X	10A-Eng, No31, V-4	10AB-SpJ, Sp01, V-2   10AB-SpM, Sp03, T-11
<b>3</b>	10A-Mus, Mu02, V-21	10A-Soz, No31, T-15	10A-Deu, No31, V-6	10A-Phy, Ph02, T-8	10A-Mus, Mu02, V-21
<b>4</b>	10AB-ReK, No31, T-8   10AB-ReE, No32, T-23	10A-Inf, PP02, V-19	10A-Deu, No31, V-6	10A-Soz, No31, T-15	10AB-Frz, No31, T-34   10AB-Lat, No32, T-5
<b>5</b>	10A-Eng, No31, V-4	10A-Erd, No31, V-9	10AB-Frz, No31, T-34   10AB-Lat, No32, T-5	10A-Inf, PP02, V-19	10A-Kun, Ku01, T-15
<b>6</b>	10A-Phy, Ph03, T-8	10A-BiC, BC01, V-15	10AB-Frz, No31, T-34   10AB-Lat, No32, T-5	10A-Erd, No31, V-9	10A-Mat, No31, T-1
<b>7</b>	10A-Deu, No31, V-6	X	10AB-SpJ, Sp03, V-2   10AB-SpM, Sp02, T-11	10AB-ReK, No31, T-8   10AB-ReE, No32, T-23	10A-BiC, BC02, V-15
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.94:** Stundenplan der Schulklasse 10B

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	10B-Mat, No32, T-32	X	X	10B-Eng, No32, T-30	10AB-SpJ, Sp01, V-2   10AB-SpM, Sp03, T-11
<b>2</b>	10B-Mat, No32, T-32	X	X	10B-Eng, No32, T-30	10AB-SpJ, Sp01, V-2   10AB-SpM, Sp03, T-11
<b>3</b>	10B-Eng, No32, T-30	10B-Kun, Ku02, V-3	10B-Soz, No32, T-20	10B-Deu, No32, T-12	10B-Mat, No32, T-32
<b>4</b>	10AB-ReK, No31, T-8   10AB-ReE, No32, T-23	10B-Mus, Mu01, V-23	10B-Inf, PP01, T-31	10B-Deu, No32, T-12	10AB-Frz, No31, T-34   10AB-Lat, No32, T-5
<b>5</b>	10B-Inf, PP03, T-31	10B-BiC, BC03, V-23	10AB-Frz, No31, T-34   10AB-Lat, No32, T-5	10B-Kun, Ku01, V-3	10B-Erd, No32, V-14
<b>6</b>	10B-Soz, No32, T-20	10B-Erd, No32, V-14	10AB-Frz, No31, T-34   10AB-Lat, No32, T-5	10B-BiC, BC02, V-23	10B-Mus, Mu02, V-23
<b>7</b>	10B-Deu, No32, T-12	10B-Phy, Ph03, T-6	10AB-SpJ, Sp03, V-2   10AB-SpM, Sp02, T-11	10AB-ReK, No31, T-8   10AB-ReE, No32, T-23	10B-Phy, Ph02, T-6
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.95: Stundenplan der Schulklasse 10C**

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	10C-Mat, No33, V-5	10CD-Frz, No33, V-6   10CD-Lat, No34, T-22	10C-Deu, No33, V-6
<b>2</b>	10C-BiC, BC03, T-14	X	10C-Mat, No33, V-5	10CD-Frz, No33, V-6   10CD-Lat, No34, T-22	10C-Deu, No33, V-6
<b>3</b>	10C-Mat, No33, V-5	10C-Kun, Ku01, V-7	10C-BiC, BC02, T-14	10C-Soz, No33, T-15	10C-Phy, Ph02, V-19
<b>4</b>	10C-Eng, No33, V-4	10C-Soz, No33, T-15	10CD-ReK, No34, T-4   10CD-ReE, No33, T-8	10C-Inf, PP02, T-33	10C-Erd, No33, V-9
<b>5</b>	10CD-ReK, No33, T-4   10CD-ReE, No34, T-8	10C-Inf, PP01, T-33	10C-Deu, No33, V-6	10C-Eng, No33, V-4	10CD-SpJ, Sp01, T-29   10CD-SpM, Sp03, T-33
<b>6</b>	10CD-Frz, No33, V-6   10CD-Lat, No34, T-22	10C-Phy, Ph03, V-19	10C-Mus, Mu01, V-23	10C-Eng, No33, V-4	10CD-SpJ, Sp01, T-29   10CD-SpM, Sp03, T-33
<b>7</b>	10C-Mus, Mu02, V-23	10CD-SpJ, Sp04, T-29   10CD-SpM, Sp01, T-33	10C-Erd, No33, V-9	X	10C-Kun, Ku02, V-7
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.96:** Stundenplan der Schulklasse 10D

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	10D-Eng, No34, T-16	X	10D-Phy, Ph01, V-1	10CD-Frz, No33, V-6   10CD-Lat, No34, T-22	10D-Phy, Ph01, V-1
<b>2</b>	10D-Eng, No34, T-16	10D-Soz, No34, V-18	10D-Kun, Ku02, T-15	10CD-Frz, No33, V-6   10CD-Lat, No34, T-22	10D-Kun, Ku01, T-15
<b>3</b>	10D-Deu, No34, V-7	10D-BiC, BC03, T-14	10D-Eng, No34, T-16	10D-Mat, No34, V-5	10D-Erd, No34, T-10
<b>4</b>	10D-Mus, Mu02, T-19	10D-Inf, PP01, T-6	10CD-ReK, No34, T-4   10CD-ReE, No33, T-8	10D-Soz, No34, V-18	10D-BiC, BC02, T-14
<b>5</b>	10CD-ReK, No33, T-4   10CD-ReE, No34, T-8	10D-Mat, No34, V-5	10D-Deu, No34, V-7	10D-Inf, PP01, T-6	10CD-SpJ, Sp01, T-29   10CD-SpM, Sp03, T-33
<b>6</b>	10CD-Frz, No33, V-6   10CD-Lat, No34, T-22	10D-Mat, No34, V-5	10D-Deu, No34, V-7	10D-Mus, Mu01, T-19	10CD-SpJ, Sp01, T-29   10CD-SpM, Sp03, T-33
<b>7</b>	10D-Erd, No34, T-10	10CD-SpJ, Sp04, T-29   10CD-SpM, Sp01, T-33	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.97: Stundenplan der Schulklasse 10E**

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	10E-Inf, PP01, V-1	10EF-Frz, No35, V-17   10EF-Lat, No36, T-19	X	10E-Eng, No35, V-21	10E-Mus, Mu01, V-16
<b>2</b>	10E-BiC, BC01, T-26	10EF-Frz, No35, V-17   10EF-Lat, No36, T-19	10EF-ReK, No36, V-3   10EF-ReE, No35, T-13	10E-Eng, No35, V-21	10E-Deu, No35, V-10
<b>3</b>	10E-Soz, No35, V-8	10E-Mus, Mu02, V-16	10E-Erd, No35, V-13	10EF-SpJ, Sp03, V-11   10EF-SpM, Sp02, T-11	10E-Mat, No35, T-1
<b>4</b>	10E-Erd, No35, V-13	10E-Mat, No35, T-1	10E-Soz, No35, V-8	10EF-SpJ, Sp03, V-11   10EF-SpM, Sp02, T-11	10E-Mat, No35, T-1
<b>5</b>	10E-Deu, No35, V-10	10EF-SpJ, Sp02, V-11   10EF-SpM, Sp04, T-11	10E-Inf, PP01, V-1	10E-Phy, Ph01, T-19	10EF-ReK, No35, V-3   10EF-ReE, No36, T-13
<b>6</b>	10E-Deu, No35, V-10	10E-Eng, No35, V-21	10E-BiC, BC01, T-26	10E-Kun, Ku02, V-14	X
<b>7</b>	10E-Kun, Ku03, V-14	10E-Phy, Ph01, T-19	X	10EF-Frz, No35, V-17   10EF-Lat, No36, T-19	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.98:** Stundenplan der Schulklasse 10F

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	10EF-Frz, No35, V-17   10EF-Lat, No36, T-19	10F-Kun, Ku03, V-7	10F-Deu, No36, T-17	10F-Mat, No36, T-32
<b>2</b>	10F-Deu, No36, T-17	10EF-Frz, No35, V-17   10EF-Lat, No36, T-19	10EF-ReK, No36, V-3   10EF-ReE, No35, T-13	10F-Deu, No36, T-17	10F-Mat, No36, T-32
<b>3</b>	10F-Inf, PP03, V-9	10F-Eng, No36, V-21	10F-Soz, No36, V-8	10EF-SpJ, Sp03, V-11   10EF-SpM, Sp02, T-11	10F-Inf, PP02, V-9
<b>4</b>	10F-Soz, No36, V-8	10F-Eng, No36, V-21	10F-BiC, BC01, T-26	10EF-SpJ, Sp03, V-11   10EF-SpM, Sp02, T-11	10F-Erd, No36, T-22
<b>5</b>	10F-Kun, Ku02, V-7	10EF-SpJ, Sp02, V-11   10EF-SpM, Sp04, T-11	10F-Erd, No36, T-22	10F-Mus, Mu03, V-12	10EF-ReK, No35, V-3   10EF-ReE, No36, T-13
<b>6</b>	10F-BiC, BC01, T-26	10F-Mat, No36, T-32	10F-Phy, Ph01, T-21	10F-Eng, No36, V-21	X
<b>7</b>	10F-Phy, Ph03, T-21	10F-Mus, Mu01, V-12	X	10EF-Frz, No35, V-17   10EF-Lat, No36, T-19	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

### B.4.3 Belegungspläne der Unterrichtsräume

**Tabelle B.99:** Stundenplan des Unterrichtsraums BC01

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	8F-BiC, V-19	X	9B-BiC, V-15	X
<b>2</b>	10E-BiC, T-26	X	5A-BiC, V-15	X	8D-BiC, V-23
<b>3</b>	6B-BiC, V-22	7E-BiC, T-2	6C-BiC, V-15	5F-BiC, V-23	8C-BiC, V-23
<b>4</b>	X	5C-BiC, T-14	10F-BiC, T-26	8E-BiC, V-22	X
<b>5</b>	5D-BiC, T-14	7B-BiC, V-22	X	6B-BiC, V-22	7F-BiC, V-23
<b>6</b>	10F-BiC, T-26	10A-BiC, V-15	10E-BiC, T-26	X	6D-BiC, V-15
<b>7</b>	X	9B-BiC, V-15	5D-BiC, T-14	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.100:** Stundenplan des Unterrichtsraums BC02

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	7A-BiC, V-23	X	6F-BiC, V-19	X
<b>2</b>	X	X	8D-BiC, V-23	X	5C-BiC, T-14
<b>3</b>	8B-BiC, T-26	8C-BiC, V-23	10C-BiC, T-14	8F-BiC, V-19	6C-BiC, V-15
<b>4</b>	6A-BiC, T-26	8E-BiC, V-22	9F-BiC, V-19	5B-BiC, T-26	10D-BiC, T-14
<b>5</b>	X	5B-BiC, T-26	X	6E-BiC, V-23	7D-BiC, T-14
<b>6</b>	X	7D-BiC, T-14	9D-BiC, T-11	10B-BiC, V-23	X
<b>7</b>	9C-BiC, V-22	6E-BiC, V-23	X	X	10A-BiC, V-15
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.101:** Stundenplan des Unterrichtsraums BC03

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	6D-BiC, V-15	8A-BiC, V-19	9A-BiC, T-26	8A-BiC, V-19
<b>2</b>	10C-BiC, T-14	9A-BiC, T-26	X	X	9E-BiC, V-15
<b>3</b>	9E-BiC, V-15	10D-BiC, T-14	7F-BiC, V-23	7B-BiC, V-22	X
<b>4</b>	7C-BiC, V-22	5E-BiC, T-26	X	7A-BiC, V-23	7E-BiC, T-2
<b>5</b>	X	10B-BiC, V-23	8B-BiC, T-26	5E-BiC, T-26	9D-BiC, T-11
<b>6</b>	X	5F-BiC, V-23	7C-BiC, V-22	6A-BiC, T-26	9F-BiC, V-19
<b>7</b>	5A-BiC, V-15	6F-BiC, V-19	9C-BiC, V-22	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.102:** Stundenplan des Unterrichtsraums Ku01

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	5E-Kun, T-7	8E-Kun, T-15	7D-Kun, V-10
<b>2</b>	7B-Kun, T-7	8F-Kun, V-10	5B-Kun, T-23	7C-Kun, V-16	10D-Kun, T-15
<b>3</b>	X	10C-Kun, V-7	5C-Kun, V-7	9A-Kun, V-10	6D-Kun, T-14
<b>4</b>	5E-Kun, T-7	7D-Kun, V-10	8D-Kun, V-7	X	6C-Kun, S-1
<b>5</b>	5B-Kun, T-23	7E-Kun, T-15	X	10B-Kun, V-3	10A-Kun, T-15
<b>6</b>	5C-Kun, V-7	8C-Kun, T-15	X	9C-Kun, V-16	X
<b>7</b>	X	9C-Kun, V-16	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.103:** Stundenplan des Unterrichtsraums Ku02

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	8E-Kun, T-15	6B-Kun, V-3	X	X
<b>2</b>	6A-Kun, V-3	X	10D-Kun, T-15	X	7F-Kun, V-3
<b>3</b>	X	10B-Kun, V-3	6F-Kun, V-10	8B-Kun, V-14	6F-Kun, V-10
<b>4</b>	6B-Kun, V-3	9B-Kun, T-23	9E-Kun, V-16	9B-Kun, T-23	X
<b>5</b>	10F-Kun, V-7	5A-Kun, V-14	7A-Kun, V-16	8F-Kun, V-10	8D-Kun, V-7
<b>6</b>	X	8A-Kun, T-9	X	10E-Kun, V-14	9E-Kun, V-16
<b>7</b>	7C-Kun, V-16	X	X	6E-Kun, T-7	10C-Kun, V-7
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.104:** Stundenplan des Unterrichtsraums Ku03

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	9D-Kun, T-7	9A-Kun, V-10	10F-Kun, V-7	8A-Kun, T-9	X
<b>2</b>	9F-Kun, V-14	10A-Kun, T-15	9D-Kun, T-7	X	5D-Kun, V-14
<b>3</b>	X	5D-Kun, V-14	9F-Kun, V-14	X	X
<b>4</b>	6D-Kun, T-14	7F-Kun, V-3	X	7B-Kun, T-7	5A-Kun, V-14
<b>5</b>	8B-Kun, V-14	X	X	5F-Kun, V-14	7A-Kun, V-16
<b>6</b>	5F-Kun, V-14	6E-Kun, T-7	X	7E-Kun, T-15	8C-Kun, T-15
<b>7</b>	10E-Kun, V-14	6C-Kun, S-1	6A-Kun, V-3	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.105:** Stundenplan des Unterrichtsraums Mu01

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	X	X	10E-Mus, V-16
<b>2</b>	9B-Mus, S-1	5D-Mus, V-2	X	X	X
<b>3</b>	X	5E-Mus, V-12	8E-Mus, V-21	5D-Mus, V-2	5E-Mus, V-12
<b>4</b>	X	10B-Mus, V-23	8C-Mus, V-17	9A-Mus, V-17	6A-Mus, V-18
<b>5</b>	7D-Mus, V-16	8A-Mus, T-31	X	X	X
<b>6</b>	X	5B-Mus, V-18	10C-Mus, V-23	10D-Mus, T-19	9D-Mus, V-17
<b>7</b>	8E-Mus, V-21	10F-Mus, V-12	X	7C-Mus, V-16	5A-Mus, V-18
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.106:** Stundenplan des Unterrichtsraums Mu02

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	7F-Mus, V-2	7C-Mus, V-16	9C-Mus, V-12	X	X
<b>2</b>	8C-Mus, V-17	X	X	7E-Mus, V-12	5F-Mus, V-18
<b>3</b>	10A-Mus, V-21	10E-Mus, V-16	6D-Mus, V-16	5C-Mus, T-1	10A-Mus, V-21
<b>4</b>	10D-Mus, T-19	5A-Mus, V-18	6F-Mus, V-21	9F-Mus, V-2	7A-Mus, V-17
<b>5</b>	7B-Mus, V-17	X	X	7D-Mus, V-16	9E-Mus, V-21
<b>6</b>	9C-Mus, V-12	7A-Mus, V-17	9B-Mus, S-1	X	10B-Mus, V-23
<b>7</b>	10C-Mus, V-23	9E-Mus, V-21	9D-Mus, V-17	5B-Mus, V-18	6E-Mus, T-13
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.107:** Stundenplan des Unterrichtsraums Mu03

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	6F-Mus, V-21	5C-Mus, T-1	X	7F-Mus, V-2	X
<b>2</b>	8D-Mus, T-13	X	X	7B-Mus, V-17	6D-Mus, V-16
<b>3</b>	9F-Mus, V-2	8F-Mus, T-31	6A-Mus, V-18	8D-Mus, T-13	8A-Mus, T-31
<b>4</b>	6C-Mus, T-21	9A-Mus, V-17	5F-Mus, V-18	6C-Mus, T-21	6B-Mus, V-2
<b>5</b>	X	X	X	10F-Mus, V-12	8B-Mus, T-1
<b>6</b>	6E-Mus, T-13	6B-Mus, V-2	X	X	X
<b>7</b>	7E-Mus, V-12	8B-Mus, T-1	X	X	8F-Mus, T-31
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.108:** Stundenplan des Unterrichtsraums No01

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5AB-Lat, T-10	5A-Mat, V-5	X	X	5AB-Frz, V-17
<b>2</b>	X	5A-Mat, V-5	X	5A-Soz, V-8	5AB-Frz, V-17
<b>3</b>	X	5A-Deu, V-15	5A-Eng, T-5	5A-Deu, V-15	5AB-ReK, V-3
<b>4</b>	X	X	5A-Eng, T-5	5A-Deu, V-15	X
<b>5</b>	5A-Soz, V-8	X	5AB-ReE, T-6	5A-Mat, V-5	5A-Eng, T-5
<b>6</b>	X	5A-Erd, V-9	X	X	5A-Erd, V-9
<b>7</b>	X	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.109:** Stundenplan des Unterrichtsraums No02

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5AB-Frz, V-17	5B-Mat, V-22	5B-Erd, V-13	X	5AB-Lat, T-10
<b>2</b>	5B-Soz, V-11	5B-Mat, V-22	X	X	5AB-Lat, T-10
<b>3</b>	X	5B-Eng, V-4	X	5B-Eng, V-4	5AB-ReE, T-6
<b>4</b>	X	5B-Eng, V-4	5B-Soz, V-11	X	5B-Erd, V-13
<b>5</b>	X	X	5AB-ReK, V-3	5B-Deu, V-7	5B-Mat, V-22
<b>6</b>	X	X	X	5B-Deu, V-7	X
<b>7</b>	5B-Deu, V-7	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.110:** Stundenplan des Unterrichtsraums No03

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5C-Mat, V-23	X	X	X	5CD-ReK, T-4
<b>2</b>	5C-Mat, V-23	5C-Eng, V-4	X	X	X
<b>3</b>	5C-Deu, T-9	5C-Erd, T-10	X	X	5C-Eng, V-4
<b>4</b>	5C-Deu, T-9	X	5C-Soz, T-21	5C-Deu, T-9	5C-Eng, V-4
<b>5</b>	X	X	X	5CD-Frz, T-2	X
<b>6</b>	X	5CD-Lat, T-28	X	5CD-Frz, T-2	5C-Erd, T-10
<b>7</b>	X	5CD-ReK, T-4	5C-Mat, V-23	X	5C-Soz, T-21
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.111:** Stundenplan des Unterrichtsraums No04

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5D-Deu, V-7	5D-Soz, V-11	X	5D-Soz, V-11	5CD-ReE, T-25
<b>2</b>	5D-Deu, V-7	X	5D-Deu, V-7	X	X
<b>3</b>	5D-Eng, T-12	X	X	X	5D-Mat, V-20
<b>4</b>	5D-Eng, T-12	5D-Mat, V-20	5D-Eng, T-12	5D-Erd, V-8	5D-Mat, V-20
<b>5</b>	X	X	X	5CD-Lat, T-28	X
<b>6</b>	5D-Erd, V-8	5CD-Frz, T-2	X	5CD-Lat, T-28	X
<b>7</b>	X	5CD-ReE, T-25	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.112:** Stundenplan des Unterrichtsraums No05

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	5EF-Lat, T-5	X	5E-Deu, V-7	X
<b>2</b>	X	5EF-Lat, T-5	X	5E-Deu, V-7	X
<b>3</b>	X	X	5E-Eng, T-34	5E-Mat, V-20	X
<b>4</b>	X	X	X	5E-Mat, V-20	X
<b>5</b>	5E-Eng, T-34	5EF-ReE, T-9	5E-Soz, V-8	X	X
<b>6</b>	5E-Eng, T-34	5E-Deu, V-7	5E-Erd, V-20	5EF-ReK, T-7	5E-Soz, V-8
<b>7</b>	5E-Erd, V-20	5E-Mat, V-20	X	X	5EF-Lat, T-5
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.113:** Stundenplan des Unterrichtsraums No06

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	5EF-Frz, T-34	X	5F-Mat, V-20	X
<b>2</b>	X	5EF-Frz, T-34	5F-Soz, V-8	5F-Mat, V-20	X
<b>3</b>	5F-Mat, V-20	5F-Eng, T-35	5F-Erd, V-9	X	5F-Soz, V-8
<b>4</b>	5F-Deu, V-15	X	X	X	X
<b>5</b>	5F-Erd, V-9	5EF-ReK, T-7	5F-Deu, V-15	X	5F-Eng, T-35
<b>6</b>	X	X	5F-Deu, V-15	5EF-ReE, T-9	5F-Eng, T-35
<b>7</b>	X	X	X	X	5EF-Frz, T-34
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.114:** Stundenplan des Unterrichtsraums No07

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	6AB-ReK, V-3	6A-Eng, V-21	6A-Mat, V-20	X	6A-Eng, V-21
<b>2</b>	X	6A-Eng, V-21	6A-Mat, V-20	6A-Soz, T-26	6A-Mat, V-20
<b>3</b>	X	6AB-Lat, T-28	X	X	X
<b>4</b>	X	6AB-Lat, T-28	X	X	X
<b>5</b>	6A-Deu, T-30	X	X	6A-Deu, T-30	6AB-Frz, T-4
<b>6</b>	6A-Deu, T-30	6A-Erd, T-25	6AB-ReE, T-13	X	X
<b>7</b>	6A-Soz, T-26	X	X	6A-Erd, T-25	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.115:** Stundenplan des Unterrichtsraums No08

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	6AB-ReE, T-13	6B-Deu, V-6	X	X	X
<b>2</b>	6B-Soz, V-5	6B-Deu, V-6	6B-Eng, V-13	X	6B-Mat, V-22
<b>3</b>	X	6AB-Frz, T-4	6B-Mat, V-22	X	X
<b>4</b>	X	6AB-Frz, T-4	6B-Mat, V-22	X	X
<b>5</b>	6B-Eng, V-13	X	X	X	6AB-Lat, T-28
<b>6</b>	6B-Eng, V-13	X	6AB-ReK, V-3	6B-Deu, V-6	X
<b>7</b>	X	X	6B-Erd, V-14	6B-Soz, V-5	6B-Erd, V-14
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.116:** Stundenplan des Unterrichtsraums No09

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	6CD-Frz, V-6	X	X
<b>2</b>	6CD-Lat, V-21	6C-Soz, T-1	6CD-Frz, V-6	X	6C-Erd, T-13
<b>3</b>	X	X	X	6CD-ReE, T-9	X
<b>4</b>	X	X	6C-Erd, T-13	X	X
<b>5</b>	6C-Deu, T-17	6C-Mat, V-20	6C-Eng, V-21	6C-Soz, T-1	6C-Deu, T-17
<b>6</b>	6C-Eng, V-21	6C-Mat, V-20	6C-Eng, V-21	6C-Mat, V-20	6C-Deu, T-17
<b>7</b>	6CD-ReK, T-7	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.117:** Stundenplan des Unterrichtsraums No10

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	6CD-Lat, V-21	6D-Soz, V-17	6D-Mat, T-1
<b>2</b>	6CD-Frz, V-6	X	6CD-Lat, V-21	6D-Deu, V-15	X
<b>3</b>	6D-Erd, V-13	X	X	6CD-ReK, T-7	X
<b>4</b>	X	X	X	6D-Erd, V-13	6D-Eng, V-12
<b>5</b>	6D-Deu, V-15	6D-Mat, T-1	6D-Eng, V-12	X	X
<b>6</b>	6D-Deu, V-15	6D-Mat, T-1	6D-Eng, V-12	X	X
<b>7</b>	6CD-ReE, T-9	6D-Soz, V-17	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.118:** Stundenplan des Unterrichtsraums No11

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	6E-Mat, V-22	X	6E-Erd, V-14	6E-Eng, T-5	X
<b>2</b>	6E-Mat, V-22	X	X	6E-Eng, T-5	X
<b>3</b>	X	6EF-ReE, T-18	6E-Soz, V-5	6EF-Lat, T-22	6E-Soz, V-5
<b>4</b>	6E-Erd, V-14	6E-Deu, V-6	X	6EF-Lat, T-22	6EF-ReE, T-18
<b>5</b>	6EF-Frz, T-2	6E-Eng, T-5	X	X	6E-Deu, V-6
<b>6</b>	X	X	X	6E-Mat, V-22	6E-Deu, V-6
<b>7</b>	X	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.119:** Stundenplan des Unterrichtsraums No12

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	6F-Mat, T-11	X	X	6F-Deu, T-9
<b>2</b>	X	6F-Mat, T-11	X	6F-Soz, V-11	6F-Deu, T-9
<b>3</b>	6F-Eng, T-34	6EF-ReK, V-22	X	6EF-Frz, T-2	X
<b>4</b>	6F-Eng, T-34	6F-Deu, T-9	X	6EF-Frz, T-2	6EF-ReK, V-22
<b>5</b>	6EF-Lat, T-22	X	X	6F-Mat, T-11	6F-Eng, T-34
<b>6</b>	6F-Erd, V-20	6F-Soz, V-11	X	X	X
<b>7</b>	X	X	X	X	6F-Erd, V-20
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.120:** Stundenplan des Unterrichtsraums No13

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	7AB-Lat, T-5	7A-Eng, T-12	X
<b>2</b>	7A-Erd, V-9	X	7AB-Lat, T-5	7A-Eng, T-12	X
<b>3</b>	7A-Mat, V-16	7A-Soz, V-18	X	X	7A-Soz, V-18
<b>4</b>	7A-Mat, V-16	X	7AB-ReK, T-16	X	X
<b>5</b>	7A-Eng, T-12	7A-Deu, V-15	X	7A-Deu, V-15	X
<b>6</b>	7AB-ReK, T-16	X	7A-Erd, V-9	7A-Deu, V-15	7AB-Frz, T-4
<b>7</b>	X	X	X	X	7A-Mat, V-16
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.121:** Stundenplan des Unterrichtsraums No14

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	7B-Deu, T-8	7AB-Frz, T-4	7B-Deu, T-8	X
<b>2</b>	X	7B-Deu, T-8	7AB-Frz, T-4	X	X
<b>3</b>	7B-Erd, T-22	7B-Soz, T-20	X	X	X
<b>4</b>	7B-Eng, T-31	X	7AB-ReE, T-23	X	X
<b>5</b>	X	X	7B-Eng, T-31	7B-Mat, T-27	7B-Soz, T-20
<b>6</b>	7AB-ReE, T-23	7B-Mat, T-27	7B-Eng, T-31	7B-Mat, T-27	7AB-Lat, T-5
<b>7</b>	X	X	7B-Erd, T-22	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.122:** Stundenplan des Unterrichtsraums No15

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	7C-Deu, T-12	7C-Mat, T-32	X
<b>2</b>	7C-Deu, T-12	X	7C-Deu, T-12	X	7C-Eng, V-4
<b>3</b>	7C-Erd, V-14	7C-Mat, T-32	7C-Eng, V-4	X	7CD-Lat, T-28
<b>4</b>	X	7C-Mat, T-32	7C-Eng, V-4	X	7CD-Lat, T-28
<b>5</b>	7C-Soz, V-18	7CD-Lat, T-28	7C-Erd, V-14	7C-Soz, V-18	X
<b>6</b>	X	X	X	7CD-ReE, T-16	X
<b>7</b>	X	7CD-ReE, T-16	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.123:** Stundenplan des Unterrichtsraums No16

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	7D-Deu, V-7	X	X	X
<b>2</b>	X	7D-Deu, V-7	X	X	7D-Eng, V-12
<b>3</b>	7D-Eng, V-12	7D-Soz, V-20	7D-Mat, T-18	X	7CD-Frz, V-6
<b>4</b>	7D-Eng, V-12	X	7D-Mat, T-18	X	7CD-Frz, V-6
<b>5</b>	X	7CD-Frz, V-6	X	X	X
<b>6</b>	X	X	X	7CD-ReK, V-3	7D-Deu, V-7
<b>7</b>	7D-Mat, T-18	7CD-ReK, V-3	7D-Erd, V-8	7D-Soz, V-20	7D-Erd, V-8
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.124:** Stundenplan des Unterrichtsraums No17

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	7E-Erd, V-9	7E-Mat, T-27	X	X	7E-Mat, T-27
<b>2</b>	X	X	X	X	7E-Mat, T-27
<b>3</b>	7E-Deu, V-10	X	X	7E-Soz, V-8	X
<b>4</b>	7E-Deu, V-10	7E-Soz, V-8	7E-Eng, V-13	7EF-ReE, T-25	X
<b>5</b>	7EF-ReK, V-6	X	7EF-Lat, T-19	7E-Erd, V-9	7E-Eng, V-13
<b>6</b>	7EF-Lat, T-19	X	7EF-Lat, T-19	X	7E-Eng, V-13
<b>7</b>	X	X	7E-Deu, V-10	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.125:** Stundenplan des Unterrichtsraums No18

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	7F-Eng, V-13	X	X	7F-Soz, V-9
<b>2</b>	X	7F-Eng, V-13	X	7F-Eng, V-13	X
<b>3</b>	7F-Mat, V-23	7F-Soz, V-9	X	X	X
<b>4</b>	7F-Mat, V-23	X	X	7EF-ReK, V-6	7F-Erd, T-13
<b>5</b>	7EF-ReE, T-25	7F-Deu, T-8	7EF-Frz, V-17	7F-Deu, T-8	X
<b>6</b>	7EF-Frz, V-17	X	7EF-Frz, V-17	7F-Deu, T-8	X
<b>7</b>	X	X	7F-Erd, T-13	7F-Mat, V-23	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.126:** Stundenplan des Unterrichtsraums No19

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8A-Eng, T-30	X	X	X	X
<b>2</b>	8A-Eng, T-30	X	8A-Eng, T-30	8AB-ReE, T-25	X
<b>3</b>	8A-Mat, T-32	X	8AB-Frz, T-35	8A-Mat, T-32	X
<b>4</b>	8A-Mat, T-32	8AB-ReK, T-8	8AB-Frz, T-35	8A-Soz, V-5	X
<b>5</b>	X	X	8A-Deu, V-10	X	8A-Erd, T-12
<b>6</b>	X	X	8A-Deu, V-10	X	8A-Deu, V-10
<b>7</b>	X	8A-Soz, V-5	8A-Erd, T-12	X	8AB-Frz, T-35
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.127:** Stundenplan des Unterrichtsraums No20

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8B-Deu, T-28	8B-Mat, T-18	X	8B-Eng, V-12	X
<b>2</b>	8B-Deu, T-28	8B-Mat, T-18	X	8AB-ReK, T-8	X
<b>3</b>	X	X	8AB-Lat, T-10	X	X
<b>4</b>	8B-Soz, V-18	8AB-ReE, T-25	8AB-Lat, T-10	X	8B-Erd, T-10
<b>5</b>	X	8B-Eng, V-12	X	X	X
<b>6</b>	X	8B-Eng, V-12	8B-Erd, T-10	X	8B-Mat, T-18
<b>7</b>	X	X	8B-Soz, V-18	8B-Deu, T-28	8AB-Lat, T-10
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.128:** Stundenplan des Unterrichtsraums No21

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8C-Erd, V-8	X	8C-Mat, V-22	X	8C-Deu, T-14
<b>2</b>	X	X	8C-Mat, V-22	X	8C-Erd, V-8
<b>3</b>	8CD-Lat, T-10	X	X	8C-Eng, V-21	X
<b>4</b>	8CD-Lat, T-10	8C-Soz, T-33	X	8C-Eng, V-21	X
<b>5</b>	8C-Eng, V-21	8CD-ReK, T-25	8C-Deu, T-14	8CD-ReE, T-29	X
<b>6</b>	8C-Mat, V-22	X	8C-Deu, T-14	X	X
<b>7</b>	X	X	8CD-Lat, T-10	X	8C-Soz, T-33
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.129:** Stundenplan des Unterrichtsraums No22

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8D-Deu, T-12	X	8D-Soz, T-21	X	X
<b>2</b>	X	X	X	X	X
<b>3</b>	8CD-Frz, V-6	8D-Mat, T-11	8D-Erd, T-13	X	8D-Deu, T-12
<b>4</b>	8CD-Frz, V-6	8D-Mat, T-11	X	X	8D-Deu, T-12
<b>5</b>	X	8CD-ReE, T-29	8D-Eng, V-13	8CD-ReK, T-25	X
<b>6</b>	8D-Soz, T-21	X	8D-Eng, V-13	8D-Mat, T-11	8D-Erd, T-13
<b>7</b>	X	X	8CD-Frz, V-6	X	8D-Eng, V-13
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.130:** Stundenplan des Unterrichtsraums No23

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8EF-Frz, T-34	X	8E-Eng, V-4	X	X
<b>2</b>	8EF-Frz, T-34	X	8E-Eng, V-4	8E-Deu, T-9	X
<b>3</b>	8EF-ReE, T-23	8E-Soz, T-33	X	X	8EF-Lat, T-22
<b>4</b>	X	X	8E-Erd, V-14	X	8E-Mat, V-16
<b>5</b>	8E-Deu, T-9	8E-Mat, V-16	X	8E-Soz, T-33	8E-Eng, V-4
<b>6</b>	8E-Deu, T-9	8E-Mat, V-16	8EF-ReE, T-23	X	8E-Erd, V-14
<b>7</b>	X	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.131:** Stundenplan des Unterrichtsraums No24

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	8EF-Lat, T-22	X	8F-Deu, T-17	X	X
<b>2</b>	8EF-Lat, T-22	X	8F-Deu, T-17	X	X
<b>3</b>	8EF-ReK, T-18	X	8F-Mat, V-20	X	8EF-Frz, T-34
<b>4</b>	8F-Mat, V-20	8F-Eng, T-31	8F-Mat, V-20	X	8F-Deu, T-17
<b>5</b>	X	8F-Soz, V-8	X	X	8F-Eng, T-31
<b>6</b>	X	X	8EF-ReK, T-18	8F-Soz, V-8	8F-Eng, T-31
<b>7</b>	8F-Erd, V-8	X	X	8F-Erd, V-8	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.132:** Stundenplan des Unterrichtsraums No25

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	9A-Mat, V-16	X	9AB-Lat, T-16	X	9A-Eng, V-13
<b>2</b>	9A-Mat, V-16	X	9AB-Lat, T-16	9AB-ReK, T-7	9A-Eng, V-13
<b>3</b>	9AB-ReK, T-7	9A-Eng, V-13	9A-Deu, T-30	X	9A-Erd, T-13
<b>4</b>	X	X	9A-Deu, T-30	X	X
<b>5</b>	9AB-Frz, T-35	X	9A-Erd, T-13	X	9A-Deu, T-30
<b>6</b>	9A-Soz, V-18	X	9A-Mat, V-16	X	9A-Soz, V-18
<b>7</b>	X	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.133:** Stundenplan des Unterrichtsraums No26

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	9AB-Frz, T-35	X	9B-Mat, T-18
<b>2</b>	X	X	9AB-Frz, T-35	9AB-ReE, T-16	9B-Mat, T-18
<b>3</b>	9AB-ReE, T-16	X	9B-Deu, V-11	X	9B-Eng, T-30
<b>4</b>	9B-Eng, T-30	X	9B-Erd, V-9	X	9B-Eng, T-30
<b>5</b>	9AB-Lat, T-16	9B-Soz, V-17	9B-Mat, T-18	X	9B-Deu, V-11
<b>6</b>	9B-Erd, V-9	X	X	X	9B-Deu, V-11
<b>7</b>	X	X	X	X	9B-Soz, V-17
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.134:** Stundenplan des Unterrichtsraums No27

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	9CD-Lat, T-29	X	X	9C-Erd, V-14
<b>2</b>	X	9CD-Lat, T-29	X	X	9C-Mat, V-5
<b>3</b>	X	X	9C-Deu, T-24	9C-Eng, T-16	9CD-Lat, T-29
<b>4</b>	9C-Eng, T-16	9C-Erd, V-14	9C-Deu, T-24	9C-Eng, T-16	9CD-ReK, T-4
<b>5</b>	X	9CD-ReK, T-4	9C-Mat, V-5	9C-Soz, V-8	X
<b>6</b>	X	9C-Soz, V-8	9C-Mat, V-5	X	9C-Deu, T-24
<b>7</b>	X	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.135:** Stundenplan des Unterrichtsraums No28

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	9CD-Frz, T-4	X	X	9D-Deu, T-22
<b>2</b>	9D-Soz, V-20	9CD-Frz, T-4	X	X	9D-Deu, T-22
<b>3</b>	X	X	9D-Eng, V-12	X	9CD-Frz, T-4
<b>4</b>	X	9D-Erd, V-13	9D-Eng, V-12	X	9CD-ReE, T-6
<b>5</b>	9D-Mat, V-5	9CD-ReE, T-6	9D-Soz, V-20	9D-Erd, V-13	X
<b>6</b>	9D-Mat, V-5	X	X	9D-Mat, V-5	X
<b>7</b>	9D-Deu, T-22	X	X	X	9D-Eng, V-12
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.136:** Stundenplan des Unterrichtsraums No29

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	9E-Deu, T-35	X	9E-Mat, T-18	9EF-Frz, T-2	X
<b>2</b>	9E-Deu, T-35	9EF-Frz, T-2	9E-Mat, T-18	9EF-Frz, T-2	X
<b>3</b>	X	9EF-ReE, T-23	9E-Soz, T-15	9E-Eng, V-13	9E-Soz, T-15
<b>4</b>	9E-Mat, T-18	X	X	9E-Erd, V-9	X
<b>5</b>	X	9E-Eng, V-13	9E-Deu, T-35	9EF-ReK, T-7	X
<b>6</b>	X	9E-Eng, V-13	X	X	X
<b>7</b>	9E-Erd, V-9	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.137:** Stundenplan des Unterrichtsraums No30

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	9F-Erd, T-25	X	9EF-Lat, T-28	9F-Eng, T-31
<b>2</b>	X	9EF-Lat, T-28	X	9EF-Lat, T-28	9F-Eng, T-31
<b>3</b>	X	9EF-ReK, T-7	X	9F-Erd, T-25	9F-Mat, T-27
<b>4</b>	9F-Soz, V-17	X	X	X	X
<b>5</b>	X	9F-Deu, V-10	9F-Mat, T-27	9EF-ReE, T-23	X
<b>6</b>	X	9F-Deu, V-10	9F-Mat, T-27	9F-Soz, V-17	X
<b>7</b>	9F-Eng, T-31	X	X	X	9F-Deu, V-10
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.138:** Stundenplan des Unterrichtsraums No31

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	10A-Mat, T-1	X	X	10A-Eng, V-4	X
<b>2</b>	10A-Mat, T-1	X	X	10A-Eng, V-4	X
<b>3</b>	X	10A-Soz, T-15	10A-Deu, V-6	X	X
<b>4</b>	10AB-ReK, T-8	X	10A-Deu, V-6	10A-Soz, T-15	10AB-Frz, T-34
<b>5</b>	10A-Eng, V-4	10A-Erd, V-9	10AB-Frz, T-34	X	X
<b>6</b>	X	X	10AB-Frz, T-34	10A-Erd, V-9	10A-Mat, T-1
<b>7</b>	10A-Deu, V-6	X	X	10AB-ReK, T-8	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.139:** Stundenplan des Unterrichtsraums No32

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	10B-Mat, T-32	X	X	10B-Eng, T-30	X
<b>2</b>	10B-Mat, T-32	X	X	10B-Eng, T-30	X
<b>3</b>	10B-Eng, T-30	X	10B-Soz, T-20	10B-Deu, T-12	10B-Mat, T-32
<b>4</b>	10AB-ReE, T-23	X	X	10B-Deu, T-12	10AB-Lat, T-5
<b>5</b>	X	X	10AB-Lat, T-5	X	10B-Erd, V-14
<b>6</b>	10B-Soz, T-20	10B-Erd, V-14	10AB-Lat, T-5	X	X
<b>7</b>	10B-Deu, T-12	X	X	10AB-ReE, T-23	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.140:** Stundenplan des Unterrichtsraums No33

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	10C-Mat, V-5	10CD-Frz, V-6	10C-Deu, V-6
<b>2</b>	X	X	10C-Mat, V-5	10CD-Frz, V-6	10C-Deu, V-6
<b>3</b>	10C-Mat, V-5	X	X	10C-Soz, T-15	X
<b>4</b>	10C-Eng, V-4	10C-Soz, T-15	10CD-ReE, T-8	X	10C-Erd, V-9
<b>5</b>	10CD-ReK, T-4	X	10C-Deu, V-6	10C-Eng, V-4	X
<b>6</b>	10CD-Frz, V-6	X	X	10C-Eng, V-4	X
<b>7</b>	X	X	10C-Erd, V-9	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.141:** Stundenplan des Unterrichtsraums No34

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	10D-Eng, T-16	X	X	10CD-Lat, T-22	X
<b>2</b>	10D-Eng, T-16	10D-Soz, V-18	X	10CD-Lat, T-22	X
<b>3</b>	10D-Deu, V-7	X	10D-Eng, T-16	10D-Mat, V-5	10D-Erd, T-10
<b>4</b>	X	X	10CD-ReK, T-4	10D-Soz, V-18	X
<b>5</b>	10CD-ReE, T-8	10D-Mat, V-5	10D-Deu, V-7	X	X
<b>6</b>	10CD-Lat, T-22	10D-Mat, V-5	10D-Deu, V-7	X	X
<b>7</b>	10D-Erd, T-10	X	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.142:** Stundenplan des Unterrichtsraums No35

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	10EF-Frz, V-17	X	10E-Eng, V-21	X
<b>2</b>	X	10EF-Frz, V-17	10EF-ReE, T-13	10E-Eng, V-21	10E-Deu, V-10
<b>3</b>	10E-Soz, V-8	X	10E-Erd, V-13	X	10E-Mat, T-1
<b>4</b>	10E-Erd, V-13	10E-Mat, T-1	10E-Soz, V-8	X	10E-Mat, T-1
<b>5</b>	10E-Deu, V-10	X	X	X	10EF-ReK, V-3
<b>6</b>	10E-Deu, V-10	10E-Eng, V-21	X	X	X
<b>7</b>	X	X	X	10EF-Frz, V-17	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.143:** Stundenplan des Unterrichtsraums No36

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	10EF-Lat, T-19	X	10F-Deu, T-17	10F-Mat, T-32
<b>2</b>	10F-Deu, T-17	10EF-Lat, T-19	10EF-ReK, V-3	10F-Deu, T-17	10F-Mat, T-32
<b>3</b>	X	10F-Eng, V-21	10F-Soz, V-8	X	X
<b>4</b>	10F-Soz, V-8	10F-Eng, V-21	X	X	10F-Erd, T-22
<b>5</b>	X	X	10F-Erd, T-22	X	10EF-ReE, T-13
<b>6</b>	X	10F-Mat, T-32	X	10F-Eng, V-21	X
<b>7</b>	X	X	X	10EF-Lat, T-19	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.144:** Stundenplan des Unterrichtsraums PP01

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	10E-Inf, V-1	6C-Inf, V-2	X	X	7C-Inf, T-6
<b>2</b>	7F-Inf, V-2	6D-Inf, V-1	5E-Inf, V-9	X	X
<b>3</b>	6A-Inf, V-4	X	7B-Inf, T-33	9D-Inf, T-17	8B-Inf, T-17
<b>4</b>	9A-Inf, V-1	10D-Inf, T-6	10B-Inf, T-31	5F-Inf, V-10	7B-Inf, T-33
<b>5</b>	8A-Inf, V-19	10C-Inf, T-33	10E-Inf, V-1	10D-Inf, T-6	8C-Inf, T-2
<b>6</b>	8B-Inf, T-17	7C-Inf, T-6	7D-Inf, V-4	X	X
<b>7</b>	5F-Inf, V-10	6B-Inf, V-2	X	X	7E-Inf, V-9
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.145:** Stundenplan des Unterrichtsraums PP02

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	X	X	8D-Inf, V-12
<b>2</b>	5A-Inf, V-1	7E-Inf, V-9	X	X	X
<b>3</b>	6E-Inf, T-17	9C-Inf, V-10	5D-Inf, T-17	7A-Inf, S-1	10F-Inf, V-9
<b>4</b>	9D-Inf, T-17	10A-Inf, V-19	7F-Inf, V-2	10C-Inf, T-33	X
<b>5</b>	8D-Inf, V-12	5C-Inf, V-7	6A-Inf, V-4	10A-Inf, V-19	9C-Inf, V-10
<b>6</b>	8F-Inf, V-4	9B-Inf, T-33	X	X	X
<b>7</b>	8C-Inf, T-2	X	9A-Inf, V-1	X	9E-Inf, V-2
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.146:** Stundenplan des Unterrichtsraums PP03

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	9F-Inf, V-12	X	X	X	X
<b>2</b>	7D-Inf, V-4	7A-Inf, S-1	9F-Inf, V-12	6C-Inf, V-2	8A-Inf, V-19
<b>3</b>	10F-Inf, V-9	X	5B-Inf, V-19	9B-Inf, T-33	6B-Inf, V-2
<b>4</b>	8E-Inf, T-2	9E-Inf, V-2	6E-Inf, T-17	8F-Inf, V-4	X
<b>5</b>	10B-Inf, T-31	6F-Inf, V-4	X	6D-Inf, V-1	5E-Inf, V-9
<b>6</b>	5B-Inf, V-19	X	5A-Inf, V-1	X	6F-Inf, V-4
<b>7</b>	5D-Inf, T-17	X	X	5C-Inf, V-7	8E-Inf, T-2
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.147:** Stundenplan des Unterrichtsraums Ph01

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	7D-Phy, T-23	X	10D-Phy, V-1	X	10D-Phy, V-1
<b>2</b>	X	8E-Phy, T-6	9C-Phy, T-19	5C-Phy, V-1	6E-Phy, T-21
<b>3</b>	5E-Phy, T-19	X	8C-Phy, T-21	7F-Phy, T-23	6A-Phy, T-3
<b>4</b>	X	X	5E-Phy, T-19	8B-Phy, V-19	8A-Phy, T-32
<b>5</b>	9C-Phy, T-19	X	7D-Phy, T-23	10E-Phy, T-19	7C-Phy, V-19
<b>6</b>	8A-Phy, T-32	8D-Phy, T-19	10F-Phy, T-21	X	X
<b>7</b>	7A-Phy, V-1	10E-Phy, T-19	X	9B-Phy, V-1	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.148:** Stundenplan des Unterrichtsraums Ph02

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	7B-Phy, T-21	X	X	5A-Phy, T-3	5F-Phy, V-5
<b>2</b>	7E-Phy, T-8	X	6E-Phy, T-21	8F-Phy, T-24	X
<b>3</b>	X	9B-Phy, V-1	7E-Phy, T-8	10A-Phy, T-8	10C-Phy, V-19
<b>4</b>	X	5F-Phy, V-5	6A-Phy, T-3	9D-Phy, T-6	9A-Phy, V-1
<b>5</b>	5C-Phy, V-1	9A-Phy, V-1	6B-Phy, T-21	X	9F-Phy, V-1
<b>6</b>	5A-Phy, T-3	7F-Phy, T-23	X	9E-Phy, V-1	5B-Phy, T-6
<b>7</b>	8B-Phy, V-19	X	X	X	10B-Phy, T-6
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.149:** Stundenplan des Unterrichtsraums Ph03

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	9E-Phy, V-1	X	X	X
<b>2</b>	6F-Phy, V-19	7C-Phy, V-19	6F-Phy, V-19	5D-Phy, V-19	X
<b>3</b>	6C-Phy, T-24	9D-Phy, T-6	7A-Phy, V-1	8E-Phy, T-6	7B-Phy, T-21
<b>4</b>	X	9F-Phy, V-1	6D-Phy, V-5	8D-Phy, T-19	8C-Phy, T-21
<b>5</b>	8F-Phy, T-24	5D-Phy, V-19	X	X	6D-Phy, V-5
<b>6</b>	10A-Phy, T-8	10C-Phy, V-19	5B-Phy, T-6	X	6B-Phy, T-21
<b>7</b>	10F-Phy, T-21	10B-Phy, T-6	X	6C-Phy, T-24	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.150:** Stundenplan des Unterrichtsraums Sp01

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	7EF-SpM, T-20	8CD-SpM, T-11 9CD-SpM, T-29	10AB-SpJ, V-2
<b>2</b>	X	X	7EF-SpM, T-20	8CD-SpM, T-11 9CD-SpM, T-29	10AB-SpJ, V-2
<b>3</b>	5AB-SpM, T-20	6CD-SpM, T-29	X	6AB-SpJ, V-3 7CD-SpM, T-24	7EF-SpM, T-20
<b>4</b>	5AB-SpM, T-20	6CD-SpM, T-29	X	6AB-SpJ, V-3 7CD-SpM, T-24	X
<b>5</b>	9EF-SpJ, V-3	X	5CD-SpJ, V-2 5CD-SpM, T-3	8AB-SpJ, V-2	10CD-SpJ, T-29
<b>6</b>	9EF-SpJ, V-3	X	5CD-SpJ, V-2 5CD-SpM, T-3	8AB-SpJ, V-2	10CD-SpJ, T-29
<b>7</b>	6EF-SpJ, V-18 9AB-SpJ, T-3	10CD-SpM, T-33	X	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.151:** Stundenplan des Unterrichtsraums Sp02

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5EF-SpM, T-29	X	7EF-SpJ, V-11	X	7AB-SpJ, V-11 8EF-SpM, T-33
<b>2</b>	5EF-SpM, T-29	X	7EF-SpJ, V-11	X	7AB-SpJ, V-11 8EF-SpM, T-33
<b>3</b>	X	X	X	7CD-SpJ, V-1 10EF-SpM, T-11	X
<b>4</b>	X	X	X	7CD-SpJ, V-1 10EF-SpM, T-11	9EF-SpJ, V-3
<b>5</b>	X	6AB-SpM, T-27 10EF-SpJ, V-11	8EF-SpJ, T-24	9AB-SpJ, T-3 9AB-SpM, T-24	5CD-SpJ, V-2
<b>6</b>	7CD-SpJ, V-1	X	X	9AB-SpJ, T-3 9AB-SpM, T-24	X
<b>7</b>	9AB-SpM, T-24	X	5AB-SpM, T-20 10AB-SpM, T-11	X	X
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

**Tabelle B.152:** Stundenplan des Unterrichtsraums Sp03

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	5EF-SpJ, T-3	X	X	8CD-SpJ, V-18 9CD-SpJ, V-3	8EF-SpJ, T-24 10AB-SpM, T-11
<b>2</b>	5EF-SpJ, T-3	X	X	8CD-SpJ, V-18 9CD-SpJ, V-3	8EF-SpJ, T-24 10AB-SpM, T-11
<b>3</b>	5AB-SpJ, T-3 9CD-SpJ, V-3	8AB-SpM, V-11	X	6AB-SpM, T-27 10EF-SpJ, V-11	7EF-SpJ, V-11
<b>4</b>	5AB-SpJ, T-3	7AB-SpM, T-20	X	6AB-SpM, T-27 10EF-SpJ, V-11	5EF-SpJ, T-3 5EF-SpM, T-29
<b>5</b>	9EF-SpM, V-11	X	6EF-SpM, T-20 8EF-SpM, T-33	X	10CD-SpM, T-33
<b>6</b>	9EF-SpM, V-11	X	6EF-SpM, T-20	X	10CD-SpM, T-33
<b>7</b>	6EF-SpM, T-20	8CD-SpM, T-11	5AB-SpJ, T-3 10AB-SpJ, V-2	X	6CD-SpM, T-29
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X

Kapitel B: Darstellung der Testinstanz „6x6-02“ der Instanzengruppe „Sechs Jahrgangsstufen mit je sechs Schulklassen“

**Tabelle B.153:** Stundenplan des Unterrichtsraums Sp04

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
<b>1</b>	X	X	X	X	7AB-SpM, T-20
<b>2</b>	X	X	X	X	7AB-SpM, T-20
<b>3</b>	9CD-SpM, T-29	6CD-SpJ, T-27 8AB-SpJ, V-2	X	X	X
<b>4</b>	X	6CD-SpJ, T-27 7AB-SpJ, V-11	X	X	9EF-SpM, V-11
<b>5</b>	X	6AB-SpJ, V-3 10EF-SpM, T-11	6EF-SpJ, V-18	8AB-SpM, V-11	5CD-SpM, T-3
<b>6</b>	7CD-SpM, T-24	X	6EF-SpJ, V-18	8AB-SpM, V-11	X
<b>7</b>	X	8CD-SpJ, V-18 10CD-SpJ, T-29	X	X	6CD-SpJ, T-27
<b>8</b>	X	X	X	X	X
<b>9</b>	X	X	X	X	X
<b>10</b>	X	X	X	X	X





