

2 Problem der Stundenplansetzung an allgemeinbildenden Schulen

2.1 Einordnung und Abgrenzung

Das Problem der Stundenplansetzung an allgemeinbildenden Schulen stellt ein Teilproblem innerhalb des Gesamtproblems der Stundenplanerstellung dieser Schulen dar. Dieses wiederum ist eine Ausprägung des generellen Problems der Stundenplanerstellung, welches auch andere Anwendungsfälle wie die Veranstaltungsplanung an Universitäten und die Examensplanung erfasst. Eine schrittweise, präzise Eingrenzung des Setzungsproblems an allgemeinbildenden Schulen innerhalb dieser Problemhierarchie zu geben, ist die Aufgabe der folgenden Abschnitte.

2.1.1 Generelles Problem der Stundenplanerstellung

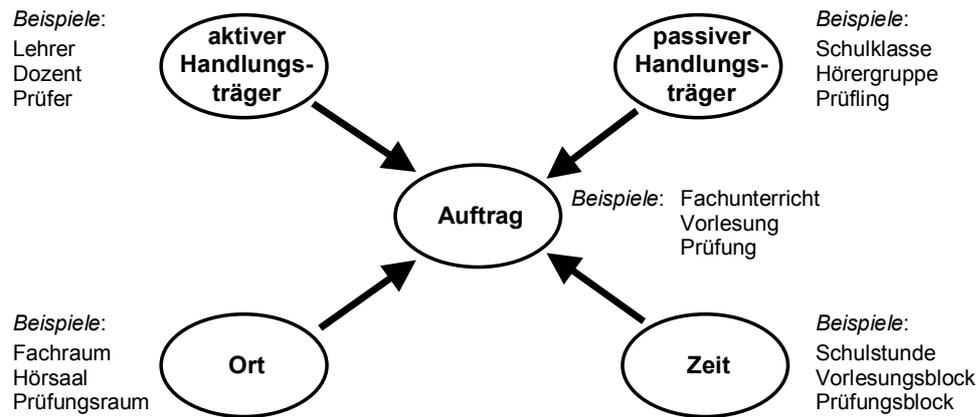
Trotz zahlreicher Untersuchungen zu verschiedenen Bereichen der Stundenplanerstellung existieren bislang nur wenige Versuche einer generellen Problemdefinition. Sehr allgemein beschreibt Junginger die Aufgabe:

„Gegeben ist eine Anzahl von Tätigkeiten [...]. Gesucht ist ein Zeitplan, der an gibt, wann die einzelnen Tätigkeiten stattfinden. Er muß verschiedenen Nebenbedingungen genügen.“ (Junginger [1968], S.250)

Eine präzisere Definition findet sich bei Krins [1981] (S.26f.). Danach ist die Stundenplanerstellung ein Zuordnungsproblem in fünf Dimensionen: aktiver Handlungsträger („wer“), passiver Handlungsträger („mit wem“), Auftrag („was“), Ort („wo“) und Zeit („wann“). Dabei ist die Zeitdimension in eine endliche Zahl diskreter Perioden eingeteilt. Die Zuordnung muss unter Beachtung einer Reihe fallindividueller Nebenbedingungen erfolgen. Generell gültig ist die Bedingung der Widerspruchs- oder Kollisionsfreiheit, welche verlangt, dass kein aktiver und kein passiver Handlungsträger und kein Ort in derselben Periode für die Erledigung mehrerer Aufträge eingesetzt ist. Auch muss die Zuordnung hinsichtlich der zu erledigenden Aufträge vollständig sein.

Unter den von Krins benannten fünf Dimensionen kann als Kerndimension der auszuführende Auftrag verstanden werden, dem die Ressourcen aktiver und passiver Handlungsträger, Ort und Zeit zuzuordnen sind (vgl. [Abbildung 2.1](#)). Dabei ist es, entgegen der Auffassung von Krins [1981] (S.30), in der Praxis durchaus denkbar, dass demselben Auftrag aus einem oder mehreren der übrigen Dimensionsbereiche mehrere Elemente zugewiesen werden, also beispielsweise mehrere aktive Handlungsträger oder etwa mehrere Räume an der Ausführung eines Auftrags beteiligt sind.

Abbildung 2.1: Die fünf Dimensionen der Stundenplanerstellung



Wichtig für die Betrachtung von Stundenplanstellungsproblemen ist die klare Differenzierung der an den jeweiligen Plan gestellten Anforderungen in Nebenbedingungen, die als unabdingbare Restriktionen durch den Stundenplan vollständig erfüllt sein müssen, und Zielsetzungen, welche als Gütekriterien eines Stundenplans zwar weitestmöglich erfüllt sein sollten, deren Berücksichtigung jedoch für die Funktionsfähigkeit des Planes nicht unbedingt erforderlich ist. Diese Differenzierung ist nicht immer leicht herzustellen, da häufig ein Grad der Mindest Erfüllung für zahlreiche Zielsetzungen gegeben ist, der die Grenze zwischen beiden Anforderungsarten fließend erscheinen lässt. Eine schwache Abgrenzung von Restriktionen und Zielen liefert z.B. Krins, nach dessen Auffassung eine Zielverfolgung kein genereller Bestandteil des Stundenplanstellungsproblems ist (vgl. Krins [1981], S.29), der jedoch in seiner Darstellung der Schulstundenplanung zahlreiche Anforderungen definiert, welche eindeutig als Zielsetzungen zu erkennen sind.²

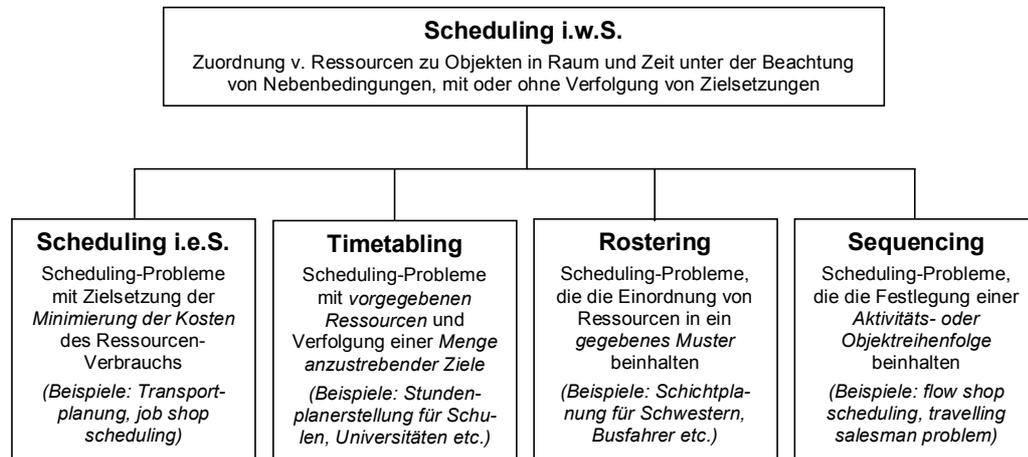
Anders als Krins stellt Wren [1996] das Charakteristikum der Mehrfachzielsetzung als eine identifizierende Eigenschaft des Stundenplanstellungsproblems innerhalb der übergeordneten Kategorie der Scheduling-Probleme heraus (vgl. [Abbildung 2.2](#)). Diese beinhalten nach Wren im weiteren Sinne (i.w.S.) die Zuordnung, unter der Beachtung von Nebenbedingungen, von Ressourcen zu Objekten in Raum und Zeit.³ Dabei können generell eine oder mehrere Zielsetzungen zu verfolgen sein, müssen aber nicht. Innerhalb des Scheduling i.w.S. unterscheidet Wren neben der Stundenplanerstellung (Timetabling) die Problemkategorien Scheduling im engeren Sinne (i.e.S.), Rostering und Sequencing. Dabei lässt sich die Stundenplanerstellung als ein Spezialfall des Scheduling i.w.S. charakterisieren, in welchem die zuzuordnenden Ressourcen vorgegeben sind und bei dessen Lösung eine Menge gleichzeitig anzustrebender Ziele zu verfolgen ist. Demgegenüber zeichnen sich Scheduling-Probleme i.e.S. durch eine eindimensionale Minimierung der Kosten flexibler Ressourcen, Rostering-Probleme durch die Vorgabe von Ressourcen in bestehende

² Vgl. hierzu die von Krins [1981] übernommenen Zielsetzungen in Tabelle 2.8, S.30.

³ „the allocation, subject to constraints, of resources to objects being placed in space-time“ (Wren [1996], S.53).

Ablaufmustern und Sequencing-Probleme durch die Konzentration auf eine Reihenfolgeplanung aus.

Abbildung 2.2: Kategorisierung von Scheduling-Problemen nach Wren [1996]



Allen Definitionen des generellen Problems der Stundenplanerstellung ist, entsprechend der Vielfältigkeit der umfassten Problemfälle, eine geringe Konkretisierung der Aufgabe gemein. Sie sind daher nur von geringer praktischer Bedeutung, können jedoch eine Hilfestellung bei der Spezifikation spezieller Problemstellungen leisten. Da sich die von Krins [1981] vorgelegte Charakterisierung als fünfdimensionales Zuordnungsproblem zu diesem Zweck besonders gut eignet, soll sie als Ausgangspunkt für die weitere Eingrenzung des Setzungsproblems an allgemeinbildenden Schulen verwendet werden. Allerdings wird dabei in Anlehnung an Wren [1996] die Verfolgung einer – inhaltlich offenen – Mehrfachzielsetzung als integraler Bestandteil des generellen Stundenplanerstellungsproblems betrachtet.

2.1.2 Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen

2.1.2.1 Charakteristika allgemeinbildender Schulen

Allgemeinbildende Schulen sind staatliche oder private Institutionen, die der Vermittlung einer für die Bewältigung zukünftiger Lebensaufgaben hilfreichen, teilweise unerlässlichen allgemeinen Grundbildung an Kinder und Jugendliche oder, im Rahmen des sog. zweiten Bildungsweges, an Erwachsene dienen. Sie lassen sich grob durch folgende Eigenschaften charakterisieren:

- Die Vermittlung der Allgemeinbildung an die zu unterrichtenden Schüler erfolgt im Rahmen eines Fachunterrichts durch jeweils auf ein oder mehrere Fächer spezialisierte Lehrer.

- Die Schülerschaft ist in Jahrgängen organisiert. Innerhalb eines Jahrgangs sind die Schüler je nach Altersstufe und Schultyp entweder in Klassen, d.h. Gruppen mit über die Zeit gleichbleibender Zusammensetzung, oder aber in Kurse, d.h. Gruppen mit je nach Unterrichtsfach wechselnder Zusammensetzung, eingeteilt.
- Durch ein Curriculum ist für jeden Jahrgang festgelegt, in welchem zeitlichen und inhaltlichen Umfang jeweils welche Fächer zu unterrichten sind. Das Curriculum beruht zumindest teilweise auf gesetzlichen Vorschriften.
- Die Durchführung des Unterrichts wird durch einen wochenbasierten Stundenplan geregelt, der vorgibt, zu welchen Zeiten welche Lehrer und Klassen bzw. Kurse zu welchem Fachunterricht an welchem Ort zusammentreffen sollen.

Die Ausprägung der genannten Eigenschaften hängt in großem Maße vom jeweiligen Schultyp ab. Die in Deutschland vorherrschenden Haupttypen allgemeinbildender Schulen und ihre wesentlichen Unterscheidungsmerkmale sind in [Tabelle 2.1](#) dargestellt. Eine ausführliche Beschreibung des deutschen Bildungssystems sowie der Aufgliederung allgemeinbildender Schultypen kann dem Grund- und Strukturdaten-Bericht 1999/2000 des Bundesministeriums für Bildung und Forschung entnommen werden. Eine speziell für das Bundesland Berlin gültige Darstellung der verschiedenen Schultypen findet sich im Internet unter www.lsa-berlin.de/allg/schulsys.

Tabelle 2.1: Haupttypen allgemeinbildender Schulen in Deutschland

Schultyp	Jahrgangsstufen ¹	Charakteristika
Grundschule	1 – 4 oder 1 – 6	<ul style="list-style-type: none"> • reines Klassensystem • überwiegend breites Fächerspektrum der Lehrer • Klassen bis Stufe 4 überwiegend durch Klassenlehrer unterrichtet • Basis für alle weiterführenden Schultypen
Hauptschule	5 – 9 (10) oder 7 – 9 (10)	<ul style="list-style-type: none"> • reines Klassensystem • spezialisiertes Fächerspektrum der Lehrer • häufig mit einer Grundschule gekoppelt
Realschule	5 – 10 oder 7 – 10	<ul style="list-style-type: none"> • reines Klassensystem • spezialisiertes Fächerspektrum der Lehrer • höheres Leistungsniveau als in der Hauptschule • gelegentlich mit einer Hauptschule gekoppelt
Gymnasium	5 – 13 (12) oder 7 – 13 (12)	<ul style="list-style-type: none"> • Klassensystem bis Stufe 10 bzw. 11¹, darüber Kurssystem • spezialisiertes Fächerspektrum der Lehrer • höheres Leistungsniveau als in der Realschule
Gesamtschule	5 – 10 oder 5 – 13 (12) oder 7 – 10 oder 7 – 13 (12)	<ul style="list-style-type: none"> • reines Kurssystem mit Differenzierung nach Leistungsniveaus • spezialisiertes Fächerspektrum der Lehrer • Ausprägung mit oder ohne gymnasiale Oberstufe möglich

¹ = abhängig vom Bundesland

Neben den in [Tabelle 2.1](#) dargestellten Haupttypen werden auch Sonderschulen, Abend- schulen sowie Schulkindergärten bzw. Vorschulklassen den allgemeinbildenden Schulen zugerechnet, für die jeweils besondere Bedingungen gelten und die daher im Folgenden außer Betracht bleiben sollen. Eine zahlenmäßige Aufteilung der allgemeinbildenden

Schulen in Deutschland für das Schuljahr 1997/98 findet sich in [Tabelle 2.2](#). Demnach stellen die Grundschulen über 40% aller Schulen, gefolgt von den Realschulen mit fast 20%. Eine andere Verteilung ergibt sich jedoch bei Betrachtung der Schülerzahlen. Zwar stellen auch hier die Grundschulen die größte Kategorie, doch liegen an zweiter Stelle die Gymnasien, an denen deutlich über 20% aller Schüler unterrichtet werden. Da zugleich der Anteil der Gymnasien an der Gesamtzahl aller Schulen nur bei 7,4% liegt, bedeutet dies, dass die Gymnasien zumindest im Durchschnitt sehr viel größer angelegt sind als etwa Grund- oder Hauptschulen. Stundenpläne für Gymnasien zu erstellen, ist daher tendenziell deutlich schwieriger als für andere Schultypen. Dem Gymnasialfall vergleichbar ist die Situation an Gesamtschulen. Auch hier liegt der Anteil an der gesamten Schülerschaft deutlich höher als der Anteil an allen Schulen, so dass von einer überdurchschnittlichen Schulgröße ausgegangen werden muss.

**Tabelle 2.2: Allgemeinbildende Schulen in Deutschland 1997/98
nach Schultypen**

(Quelle: Statistisches Bundesamt [1999], S.370, Tabelle 16.2)

Schultyp	Schulen		Schüler	
	Anzahl	Anteil (in %)	Anzahl (in 1.000)	Anteil (in %)
Grundschulen	17.829	41,6	3.697,8	36,4
Hauptschulen	8.284	19,3	1.505,5	14,8
Realschulen	3.468	8,1	1.225,1	12,1
Gymnasien	3.164	7,4	2.200,1	21,7
Integrierte Gesamtschulen	980	2,3	607,2	6,0
Schularten mit mehreren Bildungsgängen	1.345	3,1	384,0	3,8
Schulkindergärten und Vorklassen	4.049	9,5	75,7	0,7
Sonderschulen	3.407	8,0	406,1	4,0
Abendschulen und Kollegs	296	0,7	45,5	0,4
Summe	42.822	100,0	10.146,9	100,0

Soweit nicht gesondert spezifiziert, beziehen sich alle nachfolgenden Ausführungen stets auf allgemeinbildende Schulen aller Typen, wobei das Klassensystem als Basis-Unterrichtssystem betrachtet wird. Soweit Schulen Jahrgangsstufen enthalten, die im Kurs-system unterrichtet werden, werden die betroffenen Jahrgangsstufen als jeweils eine Klasse betrachtet und so auf das Klassensystem zurückgeführt.

2.1.2.2 Gesamtproblem der Stundenplanerstellung

Die Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen stellt einen Spezialfall des generellen Stundenplanungsproblems dar, welches in Abschnitt [2.1.1](#) dargelegt wurde. Einen Überblick der fünf zu betrachtenden Dimensionen und ihres Bezugs zum generellen Stundenplanerstellungsproblem gibt [Tabelle 2.3](#).

Tabelle 2.3: Dimensionen des generellen und des Stundenplanproblems an allgemeinbildenden Schulen

Stundenplanproblem generell	Stundenplanproblem an allgemeinbildenden Schulen
Auftrag	Fach(-Unterricht)
aktiver Handlungsträger	Lehrer
passiver Handlungsträger	Klasse
Ort	Raum
Zeit	Periode bzw. Stunde ⁴ (innerhalb einer Woche)

Jede Dimension des Stundenplanerstellungsproblems allgemeinbildender Schulen wird durch eine endliche Menge diskreter Elemente repräsentiert, deren Zusammensetzung bereits vor Beginn der Planerstellung gegeben ist. Dabei umfasst die Zeitdimension die Menge aller Schulstunden, die, verteilt auf mehrere Tage, innerhalb des Planungshorizontes von einer Woche zur Verfügung stehen. Räume unterteilen sich in Klassenräume, die über eine für jeden Unterricht erforderliche Grundausstattung verfügen, und Fachräume, die speziell für den Unterricht in bestimmten Fächern eingerichtet sind. Die Fächer ergeben sich aus dem Curriculum. Sie fallen jeweils in das Spezialgebiet eines oder mehrerer Lehrer, die entsprechend ihrer fachlichen Qualifikation eingesetzt werden. Jede Klasse besteht aus einer vorgegebenen Menge von Schülern, die sich in ihrer Zusammensetzung nicht verändert, so dass eine Betrachtung einzelner Schüler nicht erforderlich ist.

Die Kombination der Elemente der fünf Dimensionen erfolgt auf Basis des für den Schultyp vorgeschriebenen Curriculums, wobei ein Mangel an Lehrkräften gelegentlich Abweichungen erzwingen kann (vgl. Stahlknecht [1964]). Es ist möglich, dass für eine, mehrere oder alle Dimensionen eine Mehrfachausprägung gefordert ist, also etwa mehrere Lehrer und/oder mehrere Klassen an einem Fachunterricht zu beteiligen sind oder der Unterricht im Rahmen einer Doppelstunde in zwei aufeinanderfolgenden Perioden zu erfolgen hat. Eine einzelne gegenseitige Zuordnung von Fächern, Lehrern, Klassen, Räumen und aufeinanderfolgenden Perioden soll im Folgenden als *Sitzung* bezeichnet werden. Die Anzahl der vergebenen Perioden gibt dabei die Dauer der Sitzung an.

Definition 2.1: Sitzung

Jede gegenseitige Zuordnung jeweils eines oder mehrerer Elemente der Dimensionen Fach, Lehrer, Klasse und Raum sowie einer oder mehrerer direkt aufeinanderfolgender Perioden aus der Dimension Zeit.

⁴ Im schulischen Sprachgebrauch werden die Zeiteinheiten des Planungshorizontes i.d.R. als „Stunden“ bezeichnet. Der Begriff der „Periode“ wird hier verwendet, um anzudeuten, dass Schulstunden und Zeitstunden meist nicht identisch sind. In den folgenden Ausführungen werden beide Begriffe synonym gebraucht.

Eine zulässige Lösung des Stundenplanerstellungsproblems liegt dann vor, wenn es gelungen ist, ausgehend von den jeweils gegebenen Ressourcen und dem umzusetzenden Lehrplan eine Menge von Sitzungen zu erzeugen, die alle gültigen Restriktionen erfüllt, wobei zunächst offen bleibt, welche Restriktionen im Einzelnen relevant sind. Diese Frage wird in den nachfolgenden Ausführungen dieses und des nächsten Unterkapitels noch genauer betrachtet werden. Eine Menge von Sitzungen, welche alle zu beachtenden Restriktionen erfüllt, wird im Folgenden als *Stundenplan* bezeichnet.

Definition 2.2: Stundenplan

Jede Menge von Sitzungen, die alle zu beachtenden Restriktionen erfüllt.

Obwohl die meisten Praktiker und Autoren sich wie Krins [1981] aller fünf Dimensionen des Stundenplanerstellungsproblems bewusst sind, existiert nach meiner Kenntnis in der Wissenschaft bislang kein Ansatz, der bei der Lösung des Problems tatsächlich alle Dimension als Gegenstand der aktiven Zuordnung ansieht. Vielmehr wird zu Beginn der Betrachtung stets vorausgesetzt, dass ein Teil der Problemlösung, nämlich mindestens die gegenseitige Zuordnung von Klassen, Fächern und Lehrern, häufig auch der Räume, bereits erfolgt ist. Das Stundenplanproblem an Schulen wird so auf die Betrachtung der zwei bzw. drei Dimensionen Aktivität (= Klasse-Lehrer-Fach-Kombination), Zeit und ggf. Raum eingeschränkt.⁵

In dieser Herangehensweise spiegelt sich eine als natürlich empfundene Separation des Gesamtproblems in zwei sequenziell zu betrachtende Teilprobleme, nämlich die Zuordnung von Lehrern zu Fächern und Klassen, aus der sich häufig ein Fachraumbedarf ergibt, einerseits und die Entscheidung, zu welcher Zeit und in welchem der den fachlichen Anforderungen genügenden Räume der Unterricht erfolgen soll, andererseits. Grundlage ist die Erkenntnis, dass bei der Lösung des ersten Teilproblems, dessen Ergebnis im allgemeinen Sprachgebrauch als „Unterrichtsverteilung“ bezeichnet wird, andere Ziele und Restriktionen zu beachten sind als bei der Lösung des zweiten Teilproblems, das unter dem Namen „Setzung“ bekannt ist. Implizit wird unterstellt, dass die Separation beider Teilprobleme nicht nur ein Aspekt des Lösungsprozesses, sondern vielmehr dem Gesamtproblem immanent ist, wobei die Erstellung der Unterrichtsverteilung aufgrund der Lösungsreihenfolge die Setzung eindeutig dominiert.

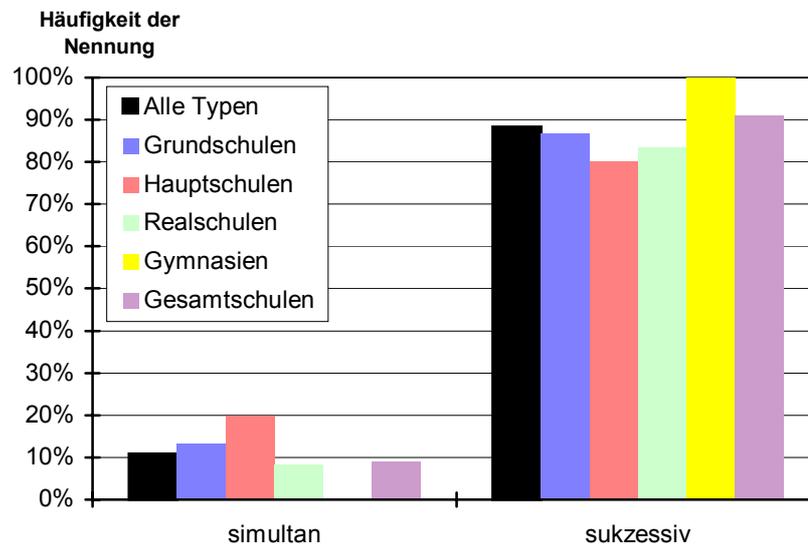
Diese grundsätzliche Trennung der beiden Teilprobleme ist auch das Ergebnis meiner schriftlichen Befragung unter 62 Berliner Schulen: 88% der befragten Stundenplaner bestätigten – bei moderaten Abweichungen zwischen verschiedenen Schultypen –, dass an ihren Schulen Erstellung einer Unterrichtsverteilung und Setzung sukzessiv durchgeführt

⁵ Als Referenzen hierzu seien, stellvertretend für viele andere, deWerra [1971], Keel [1972] sowie Bosler und Frangos [1974] genannt, aber auch Krins [1981], der nach ausführlicher Darlegung des Gesamtproblems seine Betrachtung der Stundenplanerstellung auf die zweidimensionale Zuordnung von Unterrichtseinheiten zu Stunden reduziert.

werden (vgl. [Abbildung 2.3](#); zur Befragung vgl. Unterkapitel 2.2 und Anhang 8.1). Der Trennungsansatz wird daher auch für diese Studie übernommen.

Abbildung 2.3: Unterrichtsverteilung und Setzung - simultaner vs. sukzessiver Planungsansatz

(Befragung Berliner Stundenplaner vom Winter 1997/98)



2.1.2.3 Teilproblem 1: Erstellung einer Unterrichtsverteilung

Krins [1981] (S.59) definiert eine Unterrichtsverteilung als Festlegung, „welcher Lehrer welche Klasse in welchem Fach und in welchem Raum wie oft je Woche zu unterrichten hat“. Bereits vier der fünf Dimensionen des Gesamtproblems werden demnach durch die Unterrichtsverteilung angesprochen. Im Gegensatz zur Definition von Krins wird jedoch in der Praxis sehr häufig statt eines konkreten Raumes in der Unterrichtsverteilung lediglich eine Gruppe in Bezug auf ihre Ausstattung gleichwertiger Räume bestimmt, aus denen erst im Rahmen der Setzung ein Raum auszuwählen ist. Auf diese Weise wird bei gleichzeitiger Sicherung des geforderten Raumbedarfs der Planungsspielraum des mit der anschließenden Setzung beauftragten Lehrers erhöht.

Als konstituierende Grundelemente der Unterrichtsverteilung werden im Folgenden *Unterrichtseinheiten* betrachtet, die jeweils eine einzelne Zuordnung von Elementen der Dimensionen Fach, Lehrer, Klasse und Raumgruppe beinhalten, welche als Einheit in den Stundenplan zu setzen ist. Zur Spezifikation einer Unterrichtseinheit gehört dabei auch die Festlegung, wieviele Räume der angegebenen Raumgruppe(n) benötigt werden und wieviele Sitzungen mit jeweils welcher Dauer für die Kombination in den Plan zu setzen sind.

Definition 2.3: Unterrichtseinheit⁶

Jede gegenseitige Zuordnung jeweils eines oder mehrerer Elemente der vier Dimensionen Fach, Lehrer, Klasse und Raumgruppe, für die sowohl die Anzahl und die jeweilige Dauer der zu erzeugenden Sitzungen als auch die Anzahlen der je beteiligter Raumgruppe benötigten Räume spezifiziert sind.

Zwei verbreitete Spezialfälle von Unterrichtseinheiten spielen in der Problematik der Unterrichtsverteilung eine hervorgehobene Rolle, da sie die Komplexität der Aufgabe wesentlich erhöhen: die *Kopplung* und die *Teilung*.

Definition 2.4: Kopplung

Jede Unterrichtseinheit, die mindestens zwei Elemente aus der Menge der Klassen beinhaltet.

Definition 2.5: Teilung

Jede Unterrichtseinheit, die mindestens zwei Elemente aus der Menge der Lehrer beinhaltet und deren Raumgruppenspezifikation mindestens zwei Räume umfasst.

Es ist durchaus möglich, dass eine Unterrichtseinheit gleichzeitig eine Kopplung und eine Teilung darstellt. Ein Beispiel für eine solche Teilungs-Kopplung ist die Bildung von Wahlpflichtbereichen in der Mittelstufe (Klassenstufen 7 bis 10). Dazu werden alle Klassen eines Jahrgangs zusammengefasst und ihre Schüler auf verschiedene Kurse in unterschiedlichen Fächern verteilt, die wiederum von unterschiedlichen Lehrern in getrennten Räumen unterrichtet werden.

Teilungen sind in Deutschland insbesondere an Gymnasien und Gesamtschulen von großer Bedeutung, da hier ganze Jahrgangsstufen, losgelöst von der herkömmlichen Klassengliederung, ausschließlich im Rahmen eines Kurssystems unterrichtet werden. Die Bildung sinnvoller Kursschienen stellt hier ein eigenes Unterproblem der Stundenplanerstellung dar, das häufig von einer gesondert zu diesem Zweck berufenen Person gelöst wird. Dabei ist es zumindest an Gymnasien üblich, im Vorgriff auf die Setzung die zeitliche Einplanung der Kursschienen für die Oberstufe bereits in Zusammenhang mit der Unterrichtsverteilung vorzunehmen.

⁶ Im Gegensatz zur hiesigen Definition lässt Krins [1981] nur ein Element je Dimension zu, wodurch jedoch die Flexibilität hinsichtlich der Abbildung von *Kopplungen* und *Teilungen* unnötig eingeschränkt wird.

Eine zulässige Lösung des Teilproblems der Erstellung einer *Unterrichtsverteilung* ist dann erreicht, wenn eine Menge von Unterrichtseinheiten vorliegt, die alle vorgegebenen Restriktionen erfüllt. Das Problem ist umso besser gelöst, je mehr die Zielvorstellungen und Wünsche, die Schulleitung und Lehrer an die Unterrichtsverteilung stellen, verwirklicht sind.

Definition 2.6: Unterrichtsverteilung

Jede Menge von Unterrichtseinheiten, die alle zu beachtenden Restriktionen erfüllt.

Die Unterrichtsverteilung kann interpretiert werden als personelle und räumliche Konkretisierung des Curriculums, dessen Umsetzung die Schule verfolgt. In ihre Festlegung, die i.d.R. unmittelbar durch die Schulleitung erfolgt, fließen nach Krins [1981] (S.59) folgende „Aspekte“ ein, die die zu beachtenden Restriktionen und Zielsetzungen betreffen:

- a) gesetzliche Bestimmungen über den in einer Klasse zu erteilenden Unterricht (Bildungspläne, Lehrpläne, Stoffpläne),
- b) fachliche Qualifikation der Lehrer,
- c) wöchentliche Pflichtstundenzahl der Lehrer,
- d) Raumbedarf einzelner Fächer,
- e) Kopplungen⁷ von Klassen,
- f) Lehrerwünsche nach Unterricht in bestimmten Klassen in positiver und negativer Richtung,
- g) subjektive Einschätzung einzelner Lehrer durch die Schulleitung hinsichtlich der Einsetzbarkeit in bestimmten Klassen.

Die Punkte a) bis e) repräsentieren Restriktionen, die bei der Zuordnung zu beachten sind. Dabei impliziert a) die Forderung, dass die Unterrichtsverteilung in Bezug auf den Lehrplan vollständig zu sein hat. e) ist eine Konkretisierung zu a), da sich die Notwendigkeit der Erzeugung von Kopplungen und Teilungen ebenfalls aus den gesetzlichen Vorschriften zum Unterricht ergibt. Punkte b) und c) stellen personalpolitische Restriktionen dar, wohingegen d) der ausstattungsmaßige Qualitätssicherung des Unterrichts dient und daher pädagogisch bedingt ist.

Die Punkte f) und g) können fallweise entweder als Restriktion oder als Zielsetzung verstanden werden. Vor allem g) verdeutlicht dabei den hohen Grad an Subjektivität, der diesem stark personalpolitisch und pädagogisch geprägten Teilproblem zu Eigen ist. Gegenüber diesem Charakteristikum tritt die Kombinatorik, die für die nachfolgende Setzung des Stundenplans eine zentrale Rolle spielt, stark in den Hintergrund. Wohl aus diesem Grund bemühen sich nur wenige in der Literatur zur Stundenplanerstellung vertretene Autoren, wie etwa Tillet [1975], um die automatisierte Erstellung von Unterrichts-

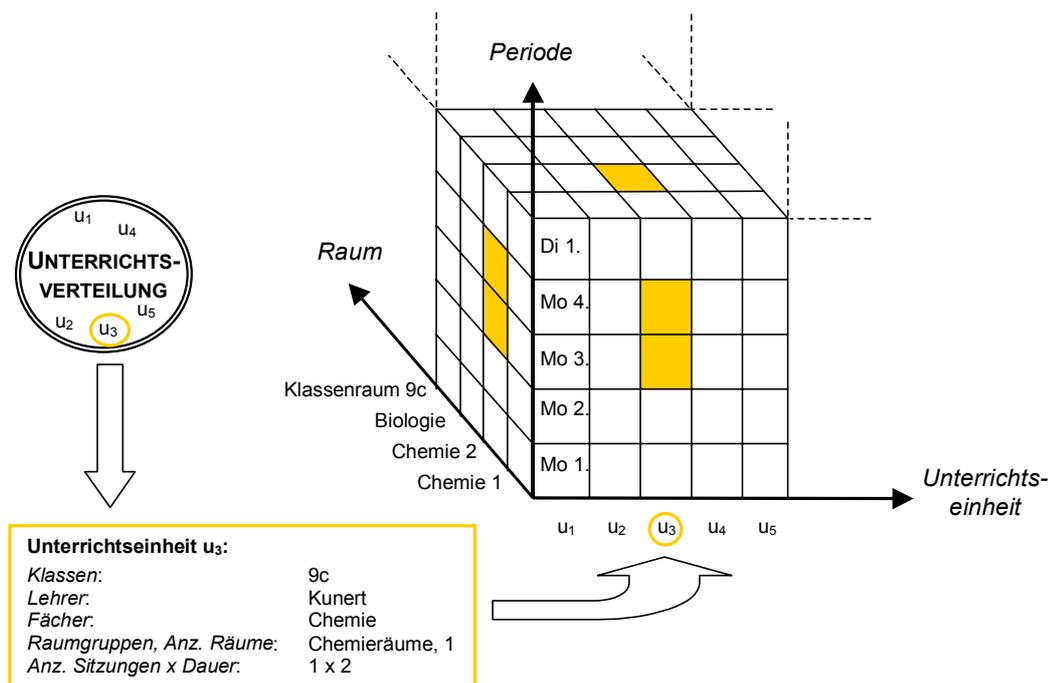
⁷ Krins [1981] (S.61-63) betrachtet Teilungen als Spezialfälle von Kopplungen.

verteilungen mit Hilfe quantitativer Methoden.⁸ Auch diese Studie wird sich im weiteren Verlauf auf die Betrachtung der Setzung beschränken. Auf die Problematik der Unterrichtsverteilung wird nur noch insoweit eingegangen, wie dies zum Verständnis und zur Lösung des Setzungsproblems erforderlich ist.

2.1.2.4 Teilproblem 2: Setzung

Basis für die Durchführung der Setzung ist das Vorliegen einer von der Schulleitung für gültig erklärten Unterrichtsverteilung. Aufgabe ist es, jeder darin enthaltenen Unterrichtseinheit die geforderte Menge an Perioden und Räumen so zuzuweisen, dass durch die resultierende Menge von Sitzungen sämtliche zu beachtenden Restriktionen eingehalten und die Zielsetzungen, die an die Setzung herangetragen werden, so weit wie möglich erfüllt werden. Das Ergebnis ist der Stundenplan für die betreffende Schule. Durch die Voraussetzung einer bereits erstellten Unterrichtsverteilung ist das Setzungsproblem gegenüber dem allgemeinen Stundenplanerstellungproblem auf drei Dimensionen reduziert (vgl. beispielhaft [Abbildung 2.4](#)).

Abbildung 2.4: Setzung einer Unterrichtseinheit (Beispiel)



Beispiel einer Zuordnung im Rahmen der Setzung: Der in der Unterrichtsverteilung enthaltenen Unterrichtseinheit u_3 , einer Chemie-Doppelstunde der Klasse 9c bei Frau Kunert, werden der Raum Chemie 2 und die Perioden 3 und 4 am Montag zugeordnet (grau schraffierte Flächen).

Die konkrete Ausgestaltung der Restriktionen und Zielsetzungen, die in die Setzung einfließen, wird im folgenden Unterkapitel eingehend behandelt.

⁸ Eine Ausnahme stellt hier das Unterproblem der Kursblockbildung an Gesamtschulen und gymnasialen Oberstufen dar, das eng mit der mit dem Problem der Aufteilung von Kursen auf Unter Kurse an Universitäten verwandt ist, für das zahlreiche quantitative Lösungsansätze entwickelt wurden (vgl. Abschnitt 2.5.1).

2.2 Restriktionen und Zielsetzungen

Fast alle in der wissenschaftlichen Literatur vertretenen Autoren, die sich mit der Stundenplansetzung an allgemeinbildenden Schulen auseinandersetzen, gehen auf die nach ihrer Erkenntnis gültigen Restriktionen und Zielsetzungen ein. Ihre Ausführungen stellen eine wichtige und grundlegende Basis der vorliegenden Arbeit dar. Ergänzt wird diese Basis durch eine schriftliche Befragung, die ich im Winter 1997/98 an allgemeinbildenden Schulen in Berlin durchgeführt habe, um herauszufinden, welche Anforderungen in welcher Intensität in der dortigen schulischen Praxis Anwendung finden und welche Methoden und Hilfsmittel zur Lösung des Setzungsproblems verwendet werden. Eine Aufstellung des Rücklaufs aus dieser Erhebung mit Aufteilung auf die befragten Schultypen gibt [Tabelle 2.4](#).

Tabelle 2.4: Fragebogen-Rücklauf der Umfrage vom Winter 1997/98 nach Schultypen

Schultyp	Anzahl Schulen in Berlin	Anteil	Fragebogen-Rücklauf
Grundschule	471	59,2%	15
Hauptschule	56	7,0%	10
Realschule	77	9,7%	12
Gymnasium	121	15,2%	13
Gesamtschule	71	8,9%	11
nicht zuordenbar ¹			1
Summe	796	100,0%	62

Anmerkung:

¹ Auf dem betreffenden Fragebogen war die Frage nach dem Schultyp unbeantwortet. Da die Befragung anonym war, konnte der Schultyp auch im nachhinein nicht bestimmt werden.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Ergebnisse der Befragung zumindest für die Gesamtheit aller allgemeinbildenden Schulen in Berlin als repräsentativ betrachtet werden kann.⁹ Obwohl dies nicht in gleichem Umfang auch für die einzelnen Schultypen gilt, werden die Ergebnisse im Folgenden nach Schultyp differenziert dargestellt. Sie können so zumindest als Indiz für unterschiedliche Schwerpunktsetzungen gewertet werden. Aussagen über die Grundgesamtheit aller Schultypen beruhen, soweit nicht anders angegeben, auf dem mit dem jeweiligen Anteil an dieser Gesamtheit gewichteten Durchschnitt der Ergebnisse für die einzelnen Schultypen, um Verzerrungen durch die unterschiedlichen Rücklaufquoten der Einzeltypen zu vermeiden.

⁹ Eine detailliertere Darstellung der Erhebungsdaten und eine Abschätzung ihrer Aussagekraft findet sich in Anhang 8.1.

2.2.1 Restriktionen

Die Stundenplansetzung an allgemeinbildenden Schulen unterliegt zahlreichen Restriktionen, die über die für das generelle Stundenplanungsproblem definierten Bedingungen der Vollständigkeit und der Kollisionsfreiheit der Zuordnungen weit hinausgehen. Eine Übersicht von Restriktionstypen, die in der Literatur genannt werden, gibt [Tabelle 2.5](#). Im Unterschied zu den im nachfolgenden Abschnitt behandelten Zielsetzungen handelt es sich dabei um Anforderungen, die vollständig erfüllt sein müssen, damit die erzeugte Menge der Sitzungen als Stundenplan und damit als zulässige Lösung des Problems gelten kann.

Tabelle 2.5: Restriktionstypen der Stundenplansetzung im Spiegelbild der Literatur

Kürzel	Restriktionstyp	Referenz(en) ¹
R-01	<i>Vollständigkeit</i> : Alle in der Unterrichtsverteilung enthaltenen Unterrichtseinheiten müssen entsprechend ihrer jeweiligen Spezifikation nach Definition 2.3 vollständig zugeordnet sein.	Ju69, Kri81, Ab93, Co94, Yo96
R-02	<i>Kollisionsfreiheit</i> : Keine Klasse, kein Lehrer und kein Raum darf in irgendeiner Periode doppelt belegt sein.	Ju69, Kri81, Ab93, Co94, Yo96
R-03	<i>Sperrungen</i> : Keine Klasse, kein Lehrer und kein Raum darf in einer Periode belegt sein, für die die betreffende Ressource nicht verfügbar ist.	Ju69, Kri81, Co94, Yo96
R-04	<i>Springstundenverbot für Klassen</i> : Kein Stundenplan irgendeiner Klasse darf an einem Tag zwischen zwei Unterrichtsstunden unterrichtsfreie Perioden (sog. Springstunden) aufweisen.	Kri81, Ab93, Co94, Yo96
R-05	<i>Doppelunterrichtsverbot</i> : Kein Stundenplan irgendeiner Klasse darf für irgendeinen Tag zwei Sitzungen ausweisen, die dasselbe Fach betreffen.	Ju69, Kri81
R-06	<i>Randstunden</i> : Sitzungen bestimmter Unterrichtseinheiten müssen für jede der beteiligten Klassen an den Rand eines Unterrichtstages gelegt werden, d.h. entweder alle einer solchen Sitzung vorangehenden oder alle nachfolgenden Perioden des gewählten Tages müssen für diese Klassen unterrichtsfrei bleiben.	Kri81, Co94
R-07	<i>Fixierungen</i> : Etwaige manuell vorgenerierte Sitzungen müssen in den Stundenplan einbezogen werden.	Kri81, Ab93
R-08	<i>Mittagspausen</i> : Für jede Klasse ist an jedem Tag innerhalb vorgegebener Grenzen eine Periode als Mittagspause (Lunch Break) zu reservieren.	Ab93, Co94
R-09	<i>Wegezeiten</i> : Bei großen räumlichen Entfernungen innerhalb der Schule sind die Sitzungen so zu planen, dass alle Wege innerhalb der Pausenzeiten zu bewältigen sind.	Co94

Anmerkung:

¹ *Aufschlüsselung*: Ju69 = Junginger [1969], Kri81 = Krins [1981], Ab93 = Abramson und Dang [1993], Co94 = Costa [1994], Yo96 = Yoshikawa et al. [1996]

Die fünf Referenzen, die der Aufstellung in [Tabelle 2.5](#) zugrundeliegen, stellen lediglich eine Auswahl der umfangreichen Literatur zur Stundenplanerstellung an Schulen dar. Die Häufigkeit der Nennung eines Restriktionstyps kann dabei als Indiz für seine praktische Relevanz gedeutet werden. So spielen einzuplanende Mittagspausen und Wegezeiten seltener eine Rolle als die Vermeidung von Klassenspringstunden, die aufgrund der Pflicht zur kontinuierlichen Beaufsichtigung der Schüler i.d.R. unerlässlich ist.

Gelegentlich werden in der Literatur weitere Nebenbedingungen genannt, die sich jedoch unter den in [Tabelle 2.5](#) enthaltenen Katalog subsumieren lassen. So zählt die von Krins

[1981] erwähnte Beachtung von Kopplungen ebenso zur Vollständigkeitsbedingung wie die bei Junginger [1969] beschriebene Anforderung, Unterricht, soweit gewünscht, in Doppelstunden stattfinden zu lassen. Die Einhaltung des Zeitrasters hingegen, die von Krins gefordert wird, muss nicht als eigenständiger Restriktionstyp definiert werden, da die Menge der verfügbaren Zeiteinheiten bereits vor Beginn der Setzung gegeben ist und somit nicht verändert werden kann.

Zur Überprüfung dieser in der Literatur berichteten Nebenbedingungen wurde im Rahmen der Schulumfrage vom Winter 1997/98 nach der praktischen Relevanz einiger in [Tabelle 2.5](#) genannter, möglicherweise aber nicht immer zu beachtender Restriktionstypen gefragt (vgl. [Tabelle 2.6](#)). Dabei wurde unterstellt, dass die Typen R-01, R-02, R-04 und R-05 ausnahmslos für alle Schulen gelten und daher nicht abgefragt werden müssen. Auch die Restriktionstypen R-08 und R-09 wurden ausgenommen unter der Vermutung, dass sie zumindest in Berlin keine nennenswerte Rolle spielen. Die Restriktionstypen R-03 (Sperrungen), R-06 (Randstunden) und R-07 (Fixierungen) hingegen wurden als überprüfungswürdig in die Befragung aufgenommen. Zusätzlich wurde zwecks Präzisierung der Vollständigkeitsforderung (R-01) nach der Relevanz von Kopplungen und Teilungen gefragt und nach der Relevanz von Blockstunden, d.h. Unterrichtseinheiten, die mehrstündige Sitzungen fordern. Angeregt durch Gespräche mit Praktikern, wurden zudem zwei weitere, bisher nicht genannte potenzielle Restriktionstypen untersucht, die mögliche Abweichungen vom Wochenschema betreffen:

1. Gibt es in der Schule Fächer oder Klassen, für die ein mehrwöchiger Unterrichtsrythmus zu planen ist (=: R-10)?
2. Werden einzelne Klassen möglicherweise nur an einer bestimmten Anzahl an Tagen in der Woche unterrichtet (=: R-11)?

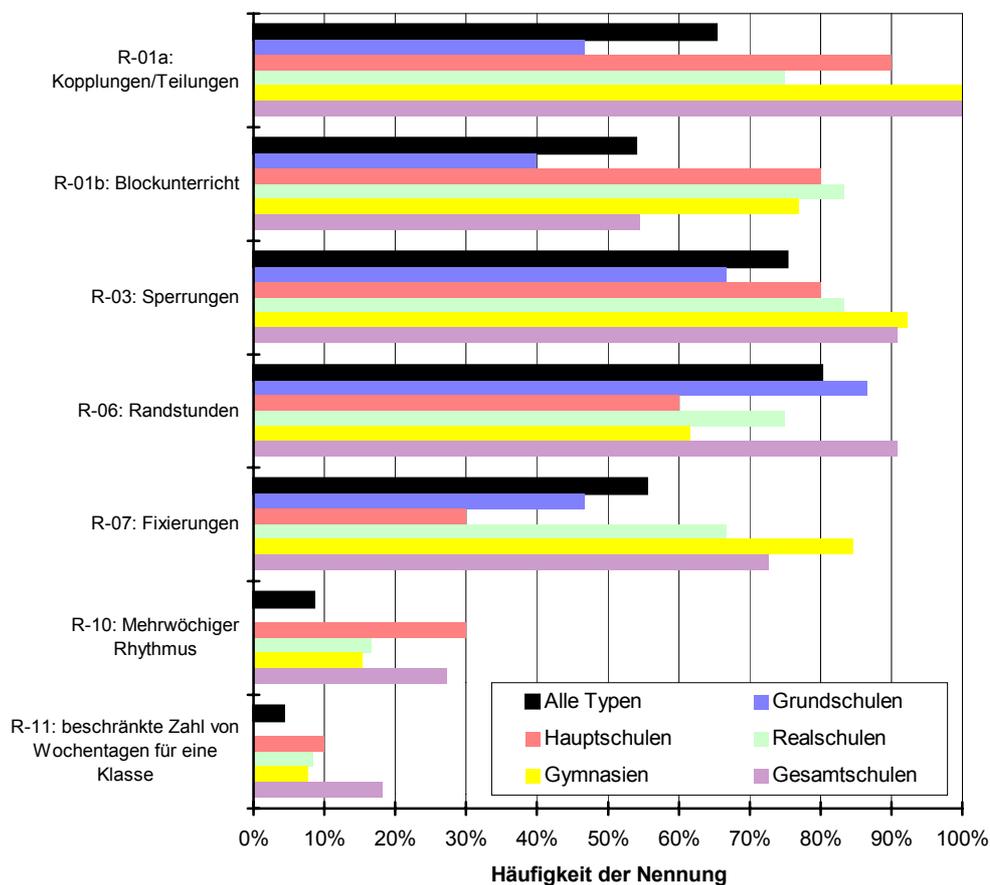
Tabelle 2.6: Restriktionstypen und -untertypen, nach deren Relevanz in der Schulumfrage vom Winter 1997/98 gefragt wurde¹⁰

Kürzel	Restriktionstyp bzw. -untertyp
R-01a	<i>Kopplungen und Teilungen</i> : Die Unterrichtsverteilung enthält Kopplungen oder Teilungen, die in der Setzung zu beachten sind.
R-01b	<i>Blockunterricht</i> : Die Unterrichtsverteilung enthält Unterrichtseinheiten, für die im Rahmen der Setzung mehrstündige Sitzungen zu erzeugen sind.
R-03	<i>Sperrungen</i>
R-06	<i>Randstunden</i>
R-07	<i>Fixierungen</i>
R-10	<i>Mehrwöchiger Unterrichtsrythmus</i> : Bestimmte Fächer oder Klassen werden, abweichend vom Wochenschema, in einem mehrwöchigen Rhythmus unterrichtet.
R-11	<i>Tageszahlbegrenzung für Klassen</i> : Einzelne Klassen dürfen nur an einer eingeschränkten Anzahl an Tagen innerhalb der Woche unterrichtet werden.

¹⁰ Die Formulierung der Restriktionstypen in Tabelle 2.5 und Tabelle 2.6 wurde zum besseren Verständnis an das Begriffsschema der Studie angepasst und weicht daher von der im Fragebogen zur Stundenplanung verwendeten Formulierung ab. Sie ist jedoch inhaltlich äquivalent. Der Wortlaut des Fragebogens ist in Anhang 8.1.3 abgedruckt.

Das Ergebnis der Befragung ist in [Abbildung 2.5](#) dargestellt. Danach sind Kopplungen bzw. Teilungen (R-01a) für alle Gymnasien und Gesamtschulen und die meisten Haupt- und Realschulen relevant. Nur unter den Grundschulen spielt diese Bedingung eine untergeordnete Rolle. Wichtig sind auch mögliche Sperrungen von Lehrern, Räumen oder Klassen (R-03), Blockunterricht (R-01b) und die Forderung, dass bestimmte Sitzungen am Rand eines Klassen-Unterrichtstages liegen müssen (R-06). Zumindest Gymnasien, Gesamt- und Realschulen müssen zudem häufig bereits vor Beginn der Setzung zeitlich fixierte Unterrichtseinheiten berücksichtigen (R-07). Relativ unbedeutend sind der Unterricht in mehrwöchigem Rhythmus (R-10) oder nur an einzelnen Wochentagen (R-11). Diese beiden Bedingungen dürften eher für Berufsschulen relevant sein, die nicht zu den allgemeinbildenden Schulen zählen.

Abbildung 2.5: Relevanz ausgewählter Restriktionstypen für die Stundenplansetzung



Um herauszufinden, welche weiteren, im Fragebogen nicht erfassten Nebenbedingungen in der Praxis gelten, wurden die Stundenplaner aufgefordert, die in [Tabelle 2.6](#) genannten Restriktionstypen zu ergänzen. Die daraufhin erfolgten Nennungen enthält [Tabelle 2.7](#).

Tabelle 2.7: Weitere Restriktionstypen der Stundenplansetzung lt. Umfrage vom Winter 1997/98

Kürzel	Restriktionstyp (Anzahl der Nennungen in Klammern)
R-09	<i>Wegezeiten</i> : Bei getrennten Gebäuden müssen <i>Wegezeiten</i> berücksichtigt werden. (3)
R-12	<i>Freie Tage für Lehrer</i> : Für Teilzeitlehrer muss der Anspruch auf unterrichtsfreie Tage berücksichtigt sein. (3)
R-13	<i>Raumbeschränkungen für Lehrer</i> : Einige Lehrer dürfen nur in bestimmten Räumen unterrichten, z.B. wegen einer Gehbehinderung. (1)
R-14	<i>Plenum und Teilung</i> : Eine Plenumsstunde ¹ darf nicht zwischen zwei Teilungsstunden liegen. (1)
R-15	<i>Beschränkung nullter Stunden</i> : Nullte Stunden dürfen nur für bestimmte Fächer vergeben werden. (1)

Anmerkung:

¹ Eine Plenumsstunde ist eine Unterrichtsstunde, in der die betreffende Klasse nicht geteilt ist.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Ausschluss der *Wegezeiten*-Bedingung (R-09) aus der Relevanzbefragung voreilig war, da sie offensichtlich an einigen Schulen zu beachten ist. Darüber hinaus ist der Anspruch von Teilzeitlehrern auf mindestens einen unterrichtsfreien Tag als Nebenbedingung zu beachten (R-12). Sie ist, da sie auf (tarif-)rechtlichen Vereinbarungen beruht, von genereller Bedeutung. Die übrigen Restriktionstypen R-13 bis R-15 wurden nur einmal genannt, so dass an ihrer allgemeinen Relevanz gezweifelt werden kann. Sie werden daher in der weiteren Betrachtung nicht berücksichtigt. Eine Zusammenstellung aller Restriktionstypen, die im weiteren Verlauf der Studie für die Beurteilung von Lösungsansätzen für das Setzungsproblem herangezogen werden, wird in Unterkapitel 2.4 gegeben.

2.2.2 Zielsetzungen

Nicht jeder realisierbare Stundenplan wird auch als gut angesehen. Seine Akzeptanz hängt von der Erfüllung zahlreicher Zielsetzungen ab, die sowohl pädagogische wie personalpolitische Vorstellungen der jeweiligen Schulleitung und der Lehrerschaft repräsentieren. Wie vielfältig diese Zielsetzungen sein können, zeigt die aus der Literatur gewonnene Zusammenstellung in [Tabelle 2.8](#).

Tabelle 2.8: Ziele der Stundenplansetzung im Spiegelbild der Literatur

Kürzel	Zielsetzung	Referenz(en) ¹
Z-01	<i>Gleichlange Klassentage</i> : Die Unterrichtstage der einzelnen Klassen sollten möglichst gleichmäßig lang sein.	Bo74, Kri81, Co94
Z-02	<i>Früher Unterrichtsbeginn</i> : Der Unterrichtstag einer Klasse sollte lieber früh enden als spät beginnen.	Sta64, Kri81
Z-03	<i>Hauptfachpräferenz</i> : Hauptfächer sollten nicht später als in Stunde p des Tages unterrichtet werden.	Sta64, Kri81
Z-04	<i>Fächerdistribution</i> : Der Unterricht eines Faches sollte für jede Klasse möglichst gleichmäßig über die Woche verteilt sein.	Sta64, Ju69
Z-05	<i>Distribution der Lehrerarbeit</i> : Die Unterrichtsstunden der einzelnen Lehrer sollten möglichst gleichmäßig auf alle Tage verteilt sein.	Sta64, Kri81
Z-06	<i>Springstundenminimierung für Lehrer</i> : Der Stundenplan sollte für jeden Lehrer möglichst wenig Springstunden, d.h. von zwei Unterrichtsstunden eines Tages eingerahmte unterrichtsfreie Stunden, ausweisen.	Sta64, Kri81
Z-07	<i>Wunsch-Freitage für Lehrer</i> : Möglichst viele Lehrerwünsche nach unterrichtsfreien Tagen sollten berücksichtigt sein.	Kri81
Z-08	<i>Wunsch-Freistunden für Lehrer</i> : Möglichst viele Lehrerwünsche nach unterrichtsfreien Stunden (nicht: Springstd.!) sollten berücksichtigt sein.	Kri81
Z-09	<i>Wunsch-Unterrichtszeiten für Lehrer</i> : Möglichst viele Lehrerwünsche nach Unterricht zu bestimmten Zeiten sollten berücksichtigt sein.	Kri81
Z-10	<i>Vertretungsbereitschaft</i> : Es sollte in jeder Stunde eine bestimmte Mindestanzahl von Lehrern für Vertretungszwecke zur Verfügung stehen.	Kri81 (implizit)

Anmerkung:

¹ *Aufschlüsselung*: Sta64 = Stahlknecht [1964], Ju69 = Junginger [1969], Bo74 = Bosler und Frangos [1974], Kri81 = Krins [1981], Co94 = Costa [1994]

Der in der Tabelle gegebene Zielkatalog erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. So definiert etwa Stahlknecht [1964] neben den hier bereits genannten zahlreiche weitere Wünsche, die jedoch zum großen Teil sehr speziell und nicht unbedingt allgemeingültig sind. Die Vielfalt der Zielvorstellungen, die das Setzungsproblem bestimmt, beinhaltet ein hohes Maß an Konfliktpotenzial. So steht der Wunsch der Gewährleistung einer Vertretungsbereitschaft (Z-10) in direktem Widerspruch zu der Forderung nach einer minimalen Springstundenanzahl für Lehrer (Z-06). Auch können Lehrerwünsche nach freien Tagen oder bestimmten Unterrichtszeiten (Z-07, Z-09) die Sicherstellung einer guten Fächerdistribution für die Klassen (Z-04) erheblich beeinträchtigen. Weitere Beispiele konfligierender Ziele lassen sich leicht finden, woraus deutlich wird, dass es bei der Lösung des Problems weniger um die einseitige Optimierung einer einzelnen Zielgröße geht als vielmehr um die Ermittlung eines allen Interessen in ausgewogener Form möglichst weitgehend gerecht werdenden Kompromisses.

Die Abgrenzung zwischen unbedingt zu beachtenden Restriktionen und verhandelbaren Zielsetzungen ist nicht immer eindeutig. Beispielsweise kann es im Rahmen der Distribution der Lehrerarbeit (Z-05) vorkommen, dass die Zahl der Unterrichtsstunden pro Tag für einen Lehrer nach oben begrenzt ist, was sowohl als Restriktion (so Abramson und Dang [1993]) als auch als Wunsch (so Stahlknecht [1964]) aufgefasst werden kann. Die Berücksichtigung der von Lehrern gewünschten freien Tage (Z-07) ist zwingend, wenn ein Rechtsanspruch besteht (vgl. Restriktionstyp R-12). Auch hier lassen sich leicht weitere

Beispiele herleiten, und die Frage nach der exakten Grenze zwischen Muss und Soll ist letztendlich nur individuell zu beantworten.

Auffallend ist die relativ geringe Aufmerksamkeit, die der Zielsetzungsproblematik in der jüngeren Literatur entgegengebracht wird. Stattdessen werden gelegentlich Anforderungen, die eindeutig dem Bereich der Restriktionen zuzuordnen sind, als Ziele formuliert, so z.B. die Restriktionstypen R-02 und R-04 bei Yoshikawa et al. [1996]. Dies mag seine Ursache in der enormen Komplexität der Setzungsaufgabe haben, die das Erreichen einer zulässigen Lösung als alle anderen Zielsetzungen überdeckendes Kernziel erscheinen lässt (vgl. Unterkapitel 2.3).

Um die praktische Relevanz der in [Tabelle 2.8](#) genannten Zielsetzungen zu prüfen und ggf. weitere in Erfahrung zu bringen, wurden die an der Umfrage vom Winter 1997/98 beteiligten Stundenplaner auch über diesen Problemaspekt befragt.¹¹ Dazu wurde die in [Tabelle 2.8](#) gegebene Liste um zwei Zielsetzungen erweitert, die mögliche Interdependenzen zwischen verschiedenen Fächern betreffen (vgl. [Tabelle 2.9](#)). Ihre mögliche Relevanz hatte sich zuvor in persönlichen Gesprächen mit verschiedenen Stundenplanern angedeutet.

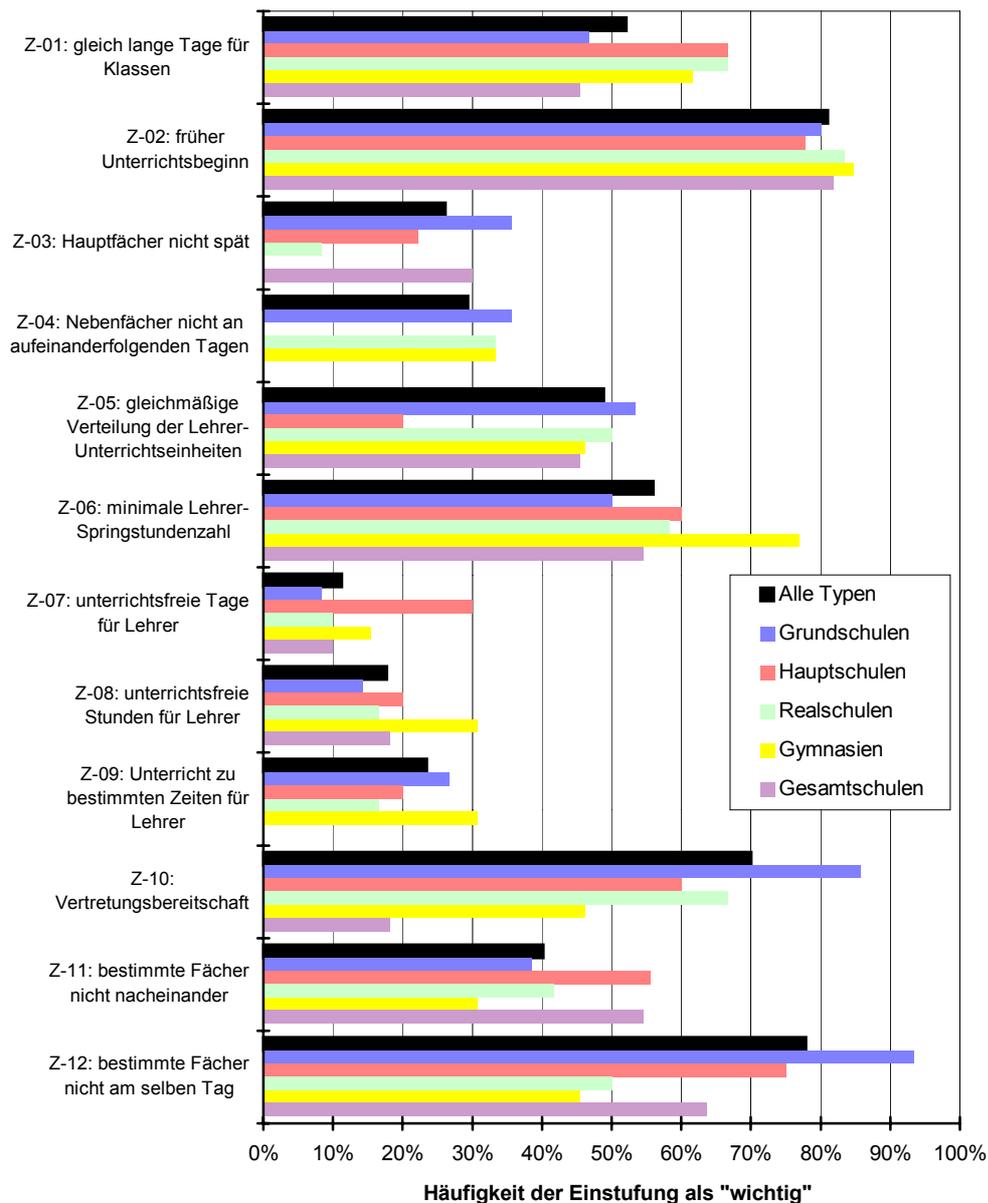
Tabelle 2.9: Zusätzlich in die Befragung vom Winter 1997/98 aufgenommene Zielsetzungen

Kürzel	Zielsetzung
Z-11	<i>Fächerbeziehungen (A)</i> : Bestimmte Fächerkombinationen, z.B. verschiedene Fremdsprachen, sollten in einer Klasse nicht in aufeinanderfolgenden Stunden unterrichtet werden.
Z-12	<i>Fächerbeziehungen (B)</i> : Bestimmte Fächerkombinationen, z.B. Sport und Schwimmen, sollten in einer Klasse nicht am selben Tag unterrichtet werden.

Gefragt wurde, ob das jeweilige Kriterium für die Stundenplansetzung an der betreffenden Schule als „wichtig“, als „weniger wichtig“ oder als „unbedeutend“ anzusehen sei. [Abbildung 2.6](#) zeigt, mit welcher Häufigkeit die verschiedenen Ziele jeweils als „wichtig“ eingestuft wurden. Am bedeutendsten ist demnach der frühe Unterrichtsbeginn für die Klassen (Z-02; wichtig für 81% aller Schulen). Ebenfalls von über 50% aller Schulen als wichtig betrachtet werden die Ziele „bestimmte Fächer nicht am selben Tag“ (Z-12; 78%), „Verfügbarkeit von Lehrern für Vertretungszwecke“ (Z-10; 70%), „Minimierung der Springstundenzahl für Lehrer“ (Z-06; 56%) und „gleich lange Unterrichtstage für die Klassen“ (Z-01; 52%).

¹¹ Bei der Befragung wurde für das Ziel Z-04 in Anlehnung an Krins [1981] die Formulierung „Nebenfächer sollten nicht an aufeinanderfolgenden Tagen unterrichtet werden“ verwendet. Sie ist eine Konkretisierung der in [Tabelle 2.8](#) gewählten, häufigeren Formulierung der gleichmäßigen Verteilung der Fächer über die Woche. Beide Formulierungen laufen letztlich auf dasselbe Ergebnis hinaus, da Hauptfächer aufgrund ihrer hohen Sitzungszahl ohnehin zumeist gut über die Woche verteilt sind.

Abbildung 2.6: Zielrelevanz für die Stundenplansetzung



Demgegenüber erscheinen Kriterien, die individuelle Lehrerwünsche hinsichtlich bevorzugter oder ausgeschlossener Unterrichtszeiten betreffen (Z-07, Z-08, Z-09), eher von untergeordneter Bedeutung. Auch Prinzipien für die Zuordnung von Haupt- oder Nebenfächern (Z-04, Z-05) gehen offenbar selten in die Planung ein.¹² Einige Kriterien werden von den Planern der verschiedenen Schultypen stark unterschiedlich eingeschätzt. So stufen das Kriterium "bestimmte Fächer nicht am selben Tag" 93% der Grundschulplaner als wichtig ein, aber nur 50% der Realschul- und 45% der Gymnasiumsplaner. 56% der Hauptschulen wollen für bestimmte Fächer die Zuordnung zu benachbarten Stunden vermeiden, aber nur 31% der Gymnasien. Eine minimale Lehrerspringstundenzahl liegt 77% der Gymnasien

¹² Einige Teilnehmer der Befragung wiesen darauf hin, dass die Unterscheidung zwischen Haupt- und Nebenfächern antiquiert bzw. für sie nicht relevant sei. Diese Einschätzung mag ein Grund für die geringe Bedeutung der Ziele Z-04 und Z-05 sein.

am Herzen, aber nur 50% der Grundschulen. Am stärksten ist die Diskrepanz jedoch bei dem Kriterium der Vertretungsbereitschaft. 86% der Grundschulen stufen dieses Kriterium als wichtig ein, aber nur 18% der Gesamtschulen.

Möglicherweise reflektieren diese abweichenden Schwerpunktsetzungen einen vom Schultyp abhängigen unterschiedlichen Komplexitätsgrad des Setzungsproblems. So ist denkbar, dass wegen der schwierigen Setzung an Gesamtschulen dort im Ergebnis mehr Springstunden je Lehrer anfallen als an Grundschulen. Dies hätte zur Folge, dass Lehrer an Gesamtschulen länger in der Schule anwesend wären und häufiger in Springstunden für Vertretungszwecke zur Verfügung stünden. Die Begrenzung ihrer Springstundenzahl stellte daher ein besonderes Problem dar, die Verfügbarkeit für Vertretungszwecke hingegen nicht. Auf diese Weise ließe sich erklären, dass Gesamtschulen dem erstgenannten Kriterium einen höheren, dem letztgenannten hingegen einen geringeren Stellenwert einräumen als Grundschulen.¹³

Analog zur Vorgehensweise im Bereich der Restriktionen wurden die Befragten aufgefordert, auf dem Fragebogen nicht genannte, aber für die betreffende Schule wichtige Ziele zu ergänzen (vgl. [Tabelle 2.10](#)). Die Vielzahl der daraufhin eingetragenen Kriterien spiegelt eindrucksvoll die Vielschichtigkeit des Setzungsproblems wider, auch wenn sich einige der genannten Punkte unter die Zielsetzungen Z-01 bis Z-12 subsumieren lassen, wie etwa Z-13 unter Z-04 oder Z-14 unter Z-05. Es ist zu vermuten, dass bei einem größeren Stichprobenumfang noch zahlreiche weitere Zielsetzungen genannt worden wären.

**Tabelle 2.10: Weitere Ziele der Stundenplansetzung
lt. Umfrage vom Winter 1997/98**

Kürzel	Zielsetzung (Anzahl der Nennungen in Klammern)
Z-13	Stunden eines Fachs sollten gleichmäßig über die Woche verteilt sein. (2)
Z-14	Nicht mehr als eine vorgegebene Anzahl Unterrichtsstunden für einen Lehrer an einem Tag. (2)
Z-15	Geteilter Unterricht sollte möglichst spät an einem Tag liegen. (2)
Z-16	Kein Sportunterricht nach der Essenspause. (1)
Z-17	Die Zahl der Springstunden sollte für alle Lehrer möglichst gleich sein. (1)
Z-18	Keine Häufung von Doppelstunden an einem Tag. (1)
Z-19	Teilungsstunden sollten möglichst an einem Tag liegen. (1)
Z-20	Ausgewogenheit (früh/mittel/spät) der Stundenanordnung eines Fachs. (1)
Z-21	Der Klassenlehrer sollte möglichst jeden Tag in seiner Klasse sein. (1)
Z-22	Dem fakultativen Bereich muss Raum gegeben werden. (1)
Z-23	Konsequente Nutzung der Fachräume. (1)
Z-24	Gleichmäßige Verteilung von Haupt- und Nebenfächern an den einzelnen Tagen. (1)
Z-25	Förderstunden sollten nicht in der sechsten Stunde liegen. (1)
Z-26	Von drei Sportstunden pro Woche sollte eine Doppelstunde gewährleistet sein. (1)

Die große Zahl möglicher Zielsetzungen macht eine Auswahl für die weitere Betrachtung unausweichlich. Sie wird, gemeinsam mit anderen Kriterien zur Beurteilung von Lö-

¹³ Zur Problematik des Ziels der Vertretungsbereitschaft vgl. Abschnitt 5.3.3.

sungsansätzen, in Unterkapitel [2.4](#) vorgestellt. Zuvor soll jedoch auf eine weitere für die Lösung des Setzungsproblems bedeutende Problematik ausführlicher eingegangen werden: seine Komplexität.

2.3 Komplexität und Lösbarkeit

Im vorangehenden Unterkapitel wurden zahlreiche Restriktionen und Zielsetzungen identifiziert, die bei der Stundenplansetzung an allgemeinbildenden Schulen zu beachten sind. Sie vermitteln bereits einen qualitativen Eindruck von der enormen Komplexität, die diesem dreidimensionalen Zuordnungsproblem zu Eigen ist. Das hinreichende Verständnis dieser Komplexität stellt eine elementare Voraussetzung für die adäquate Beurteilung jedes Ansatzes zur Lösung des Setzungsproblems dar. Aus diesem Grund soll die Frage, welcher rechnerische Aufwand zur Erzeugung eines umsetzbaren Stundenplanes erforderlich ist, an dieser Stelle etwas genauer untersucht werden, bevor im Folgenden Unterkapitel auf einen Kriterienkatalog für die Beurteilung von Lösungsansätzen eingegangen wird.

Zur Verdeutlichung der kombinatorischen Komplexität der Setzung soll zunächst auf eine stark vereinfachte, zweidimensionale Definition dieses Problems zurückgegriffen werden (vgl. Even, Itai und Shamir [1976]). Es seien hierzu folgende Mengen und Parameter definiert:

K	:= Menge aller Klassen	
L	:= Menge aller Lehrer	
P	:= Menge aller Planungsperioden (Stunden)	
P_k^{KVerf}	:= $\{p \in P: \text{Klasse } k \text{ ist in Periode } p \text{ für den Unterricht verfügbar}\};$	$\forall k \in K$
P_l^{LVerf}	:= $\{p \in P: \text{Lehrer } l \text{ ist in Periode } p \text{ für den Unterricht verfügbar}\};$	$\forall l \in L$
r_{kl}	:= Anzahl aller Perioden, zu denen laut Unterrichtsverteilung Klasse k und Lehrer l zusammentreffen sollen;	$\forall k \in K, l \in L$
$r_{\bullet l}$:= $\sum_{k \in K} r_{kl} = \text{Unterrichtsbelastung des Lehrers } l;$	$\forall l \in L$
$r_{k\bullet}$:= $\sum_{l \in L} r_{kl} = \text{Unterrichtsbelastung der Klasse } k;$	$\forall k \in K$

Ferner seien als Variablen definiert:

$$x_{klp} := \begin{cases} 1 & \text{Klasse } k \text{ und Lehrer } l \text{ treffen in Periode } p \\ & \text{zu Unterricht zusammen} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}; \quad \begin{matrix} \forall k \in K, l \in L, \\ p \in P \end{matrix}$$

Dann lässt sich das vereinfachte Setzungsproblem (VSP) definieren als die Aufgabe, für jede Variable x_{klp} einen Wert zu finden, so dass die Restriktionen

$$x_{klp} = 1 \Rightarrow p \in P_k^{KVerf} \cap P_l^{LVerf}; \quad \forall k \in K, l \in L, p \in P \quad (\text{VSP-1})$$

$$\sum_{p \in P} x_{klp} = r_{kl}; \quad \forall k \in K, l \in L \quad (\text{VSP-2})$$

$$\sum_{l \in L} x_{klp} \leq 1; \quad \forall k \in K, p \in P \quad (\text{VSP-3})$$

$$\sum_{k \in K} x_{klp} \leq 1; \quad \forall l \in L, p \in P \quad (\text{VSP-4})$$

erfüllt sind. Die Restriktionen (VSP-1) besagen, dass ein Zusammentreffen von Klasse k und Lehrer l in einer Periode p nur dann erfolgen darf, wenn sowohl k als auch l in p verfügbar sind. Die Restriktionen (VSP-2) verlangen, dass der Unterricht gemäß den Stundenvorgaben der Unterrichtsverteilung vollständig verplant wird. Dass dabei in jeder Periode p weder eine Klasse k mit mehreren Lehrern noch ein Lehrer l mit mehreren Klassen gleichzeitig zusammentrifft, der Stundenplan also kollisionsfrei ist, wird durch die Restriktionen (VSP-3) und (VSP-4) gewährleistet. Die Formulierung von VSP unterstellt implizit, dass an jedem Unterricht stets nie mehr als eine Klasse und ein Lehrer beteiligt sind. Das Problem ist trotz der Verwendung dreierlei Variablenindizes zweidimensional, da die gegenseitige Zuordnung von Klassen und Lehrern durch die Definition der r_{kl} bereits vorgegeben ist. Es wird keine Raumdimension betrachtet.

Die dem VSP innewohnende Kombinatorik wird verdeutlicht durch eine nähere Betrachtung der Variablen x_{klp} . Die Anzahl aller Wertekombinationen, die für diese Variablen gebildet werden können, steigt exponentiell in Abhängigkeit von der Variablenanzahl, die wiederum dem Produkt der Kardinalitäten der Mengen K , L und P entspricht. Bereits für ein extrem kleines Beispiel mit nur $|K| = 3$ Klassen, $|L| = 4$ Lehrern und $|P| = 6$ Perioden bedeutet dies, dass das VSP über $|K| \cdot |L| \cdot |P| = 3 \cdot 4 \cdot 6 = 72$ Variablen mit insgesamt $2^{72} \approx 4,722 \cdot 10^{21}$ möglichen Wertekombinationen verfügt. Es ist daher bereits für dieses kleine Problem undenkbar, alle möglichen Wertkombinationen auf ihre Zulässigkeit hinsichtlich der Bedingungen (VSP-1) bis (VSP-4) zu testen.

Gibt es für eine konkrete Ausprägung des VSP eine zulässige Lösung, so ist die Wahrscheinlichkeit, dass tatsächlich alle Wertekombinationen der Variablen betrachtet werden müssen, bis diese Lösung gefunden wird, als sehr gering anzusehen. Dennoch ist dieser schlechtest mögliche Fall theoretisch denkbar. Even, Itai und Shamir [1976] haben in einer grundlegenden Beweisführung festgestellt, dass der Nachweis der Existenz oder Nicht-Existenz einer zulässigen Lösung für VSP zur Klasse der NP-vollständigen Probleme gehört.¹⁴ Dies bedeutet, dass kein Algorithmus bekannt ist, der diese Aufgabe mit garantierbar polynomialem Rechenaufwand lösen kann, also in einer Zeitspanne, die über eine

¹⁴ Für eine umfassende Einführung in die Theorie der NP-Vollständigkeit vgl. das grundlegende Werk von Garey und Johnson [1979]. Dort findet sich auch unter dem Kürzel [SS19] (ebd., S.243) ein Verweis auf

polynomiale Funktion von den Dimensionsgrößen für K , L und P abhängt. Lediglich für einige eher unrealistische Spezialfälle lässt sich der Existenznachweis in polynomialer Zeit führen, etwa bei Vorliegen einer der drei von de Werra [1997] beschriebenen Konstellationen:

1. $|K| = 1$, d.h. es existiert nur eine einzige Klasse, oder
2. $|\{k \in K: |P_k^{KVerf}| < |P|\}| \leq 1$, d.h. für maximal eine Klasse sind Perioden definiert, in denen diese Klasse nicht verfügbar ist, oder
3. $|P_l^{LVerf}| = 2, \forall l \in L \wedge P_k^{KVerf} = P, \forall k \in K$, d.h. jeder Lehrer ist in genau zwei Perioden, jede Klasse in allen Perioden verfügbar.

Wenn es aber nicht möglich ist, die Existenz einer zulässigen Lösung in polynomialer Zeit zu beweisen, so ist es ebenso unmöglich zu garantieren, dass eine existierende zulässige Lösung in polynomialer Zeit identifiziert werden kann. Bereits das vereinfachte Setzungsproblem VSP gehört somit zu der Kategorie der am schwierigsten zu lösenden Planungsprobleme überhaupt, obwohl weder die Raumdimension noch solche Problemrestriktionen berücksichtigt sind, die über das Vollständigkeitsgebot, die Kollisionsfreiheit für Klassen und Lehrer sowie mögliche Sperrungen von Klassen und Lehrern zu bestimmten Zeiten hinausgehen. Es kann wohl davon ausgegangen werden, dass Setzungsprobleme, die umfassender definiert sind als das VSP, nicht leichter als dieses zu lösen sind. So haben beispielsweise Cooper und Kingston [1996] im Rahmen einer Komplexitätsanalyse der Stundenplanerstellung an Universitäten festgestellt, dass die Zuordnung von Zeiten zu Veranstaltungen ein NP-vollständiges Problem darstellt, wenn nicht alle Veranstaltungen dieselbe Dauer haben – eine Randbedingung, die i.d.R. auch für allgemeinbildende Schulen gilt.

Die hohe Komplexität des VSP hat eine Reihe von Wissenschaftlern veranlasst, nach Bedingungen zu suchen, unter denen für bestimmte Spezialfälle dieses Problems eine generelle Aussage darüber getroffen werden kann, ob eine Lösung existiert oder nicht. Die elementarsten dieser Lösbarkeitsbedingungen werden durch das sog. König-Theorem beschrieben (vgl. de Werra [1985b]). Demnach existiert stets eine Lösung für VSP, wenn gilt:

1. $|P_k^{KVerf}| = |P_l^{LVerf}| = |P|$, d.h. jede Klasse und jeder Lehrer ist zu jeder Zeit verfügbar, und
2. $r_{k\bullet} \leq |P|, \forall k \in K$, d.h. keine Klasse ist über die Zahl der verfügbaren Perioden hinaus belegt, und
3. $r_{\bullet l} \leq |P|, \forall l \in L$, d.h. kein Lehrer ist über die Zahl der verfügbaren Perioden hinaus belegt.

Eine Einbeziehung möglicher Nicht-Verfügbarkeiten von Lehrern und oder Klassen findet sich in den sog. Hall-Bedingungen. Sie lassen sich wie folgt darstellen (vgl. Gotlieb [1963]): Seien zunächst $|K| \cdot |L|$ Verfügbarkeitsvektoren V^{kl} der Länge $|P|$ mit Elementen $v_p^{kl} \in \{0, 1\}$ definiert, so dass

$$v_p^{kl} := \begin{cases} 1 & \text{Klasse } k \text{ und Lehrer } l \text{ sind in Periode } p \\ & \text{verfügbar} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}; \quad \begin{matrix} \forall k \in K, l \in L, \\ p \in P \end{matrix}$$

Ferner seien allgemein die Vereinigung $z = x \cup y$ zweier Vektoren x und y der Länge N durch die Vorschrift

$$z_n := x_n + y_n - x_n \cdot y_n; \quad \forall n = 1, \dots, N$$

und der Betrag eines Vektors z der Länge N durch die Vorschrift

$$\|z\| := \sum_{n=1}^N z_n$$

definiert. Seien mit K_l die Menge aller Klassen, die durch Lehrer l unterrichtet werden ($\forall l \in L$), und mit L_k die Menge aller Lehrer, die Klasse k unterrichten ($\forall k \in K$), bezeichnet. Dann ist für die Existenz eines Stundenplanes die Erfüllung folgender Bedingungen notwendig, jedoch nicht hinreichend¹⁵:

$$1. \quad \left\| \bigcup_{k \in K^{Teil}} V^{kl} \right\| \geq \sum_{k \in K^{Teil}} r_{kl}; \quad \forall K^{Teil} \subseteq K_l, l \in L \quad (\text{Hall 1})$$

$$2. \quad \left\| \bigcup_{l \in L^{Teil}} V^{kl} \right\| \geq \sum_{l \in L^{Teil}} r_{kl}; \quad \forall L^{Teil} \subseteq L_k, k \in K \quad (\text{Hall 2})$$

Die Bedingungen (Hall 1) besagen, dass für jeden Lehrer l in Bezug auf jede Teilmenge K^{Teil} der Klassen, die er unterrichtet, mindestens so viele Perioden verfügbar sein müssen, dass sämtlicher Unterricht dieses Lehrers mit den Klassen in K^{Teil} kollisionsfrei untergebracht werden kann. Analog verlangen die Bedingungen (Hall 2), dass für jede Klasse k in Bezug auf jede Teilmenge L^{Teil} der Lehrer, durch die sie unterrichtet wird, mindestens so viele Perioden verfügbar sein müssen, dass sämtlicher Unterricht dieser Klasse mit den Lehrern in L^{Teil} kollisionsfrei untergebracht werden kann. Die Hall-Bedingungen hat Gotlieb direkt für die Formulierung eines exakten Ansatzes für die Erzeugung zulässiger Stundenpläne eingesetzt (vgl. Abschnitt 3.2.2.6).

¹⁵ Die hinreichende Eigenschaft wurde für die Hall-Bedingungen durch Gotlieb [1963] zunächst angenommen, jedoch von Lions durch ein Gegenbeispiel zumindest für das diskrete Setzungsproblem widerlegt (vgl. Lions [1966a]; zur Diskussion im Zusammenhang mit kontinuierlichen Stundenplanungsmodellen auch Smith [1974] sowie Clementson und Elphick [1982]).

Weitere Lösbarkeitsbedingungen wurden von Ulph [1977], de Werra [1978 und 1985b] sowie von Neufeld und Tartar [1974] untersucht. Sie alle stützen sich jedoch auf Formulierungen des Setzungsproblems, die zahlreiche der in Unterkapitel [2.2](#) identifizierten Restriktionen und Zielsetzungen außer Acht lassen, und haben in der Praxis der Stundenplansetzung keine nennenswerte Bedeutung erlangt. Auf eine ausführliche Darstellung dieser Untersuchungen soll daher verzichtet werden.

2.4 Kriterien für die Beurteilung von Lösungsansätzen

Im vorangehenden Unterkapitel wurde dargelegt, dass das Problem der Stundenplansetzung an allgemeinbildenden Schulen zu jener Klasse kombinatorischer Probleme gehört, die den höchsten denkbaren Schwierigkeitsgrad aufweist. Diese Tatsache stellt für jeden potenziellen Lösungsansatz eine extrem hohe Herausforderung dar. Keineswegs ist garantiert, dass ein Algorithmus die Erwartungen, die sich an das Setzungsproblem knüpfen, hinreichend erfüllt. Aus diesem Grunde müssen bisherige wie neue Ansätze einer eingehenden Tauglichkeitsprüfung unterzogen werden, für die zum Zwecke der besseren Vergleichbarkeit hier ein einheitliches Beurteilungsschema vorgestellt wird.

Eine Übersicht der Beurteilungskriterien, die im Rahmen dieser Studie Anwendung finden sollen, gibt [Tabelle 2.11](#). Grundsätzlich kann ein Lösungsansatz nur dann als geeignet angesehen werden, wenn es ihm gelingt, eine zulässige Lösung des Problems zu erzeugen. Der Umfang der Berücksichtigung der einzelnen Restriktionstypen und die daraus abzuleitende Wahrscheinlichkeit für das Auffinden einer zulässigen Lösung stellen daher die ersten Beurteilungskriterien für die Qualität eines Lösungsansatzes dar. Als zulässig im Sinne dieser Studie soll eine Lösung dabei genau dann gelten, wenn sie diejenigen Restriktionen erfüllt, deren Relevanz in [Abschnitt 2.2.1](#) entweder als eindeutig unterstellt oder aber durch die Befragung Berliner Stundenplaner im Winter 1997/98 bestätigt wurde.

Im Zuge der Erörterung der die Setzung begleitenden Mehrfachzielsetzungsproblematik in [Abschnitt 2.2.2](#) wurde festgestellt, dass die Menge möglicherweise einfließender Zielsetzungen beinahe grenzenlos ist. Andererseits wurde durch die Befragungsergebnisse bestätigt, dass nicht alle Ziele dieselbe praktische Relevanz besitzen. Für die Beurteilung von Lösungsansätzen hinsichtlich ihrer Zielerfüllung ist es daher zweckmäßig, sich auf solche Zielsetzungen zu konzentrieren, denen eine hohe Relevanz zukommt. In der weiteren Betrachtung wird eine hohe Relevanz insbesondere für diejenigen Ziele angenommen, die in der Befragung von mehr als 50% aller Stundenplaner als „wichtig“ eingestuft wurden. Bedeutend ist in diesem Zusammenhang allerdings nicht nur die Frage, welche Ziele eingeflossen sind, sondern auch die Art, in der die Ziele verknüpft werden. Ein – subjektiv empfundenes – ausgewogenes Verhältnis zwischen den Zielgrößen ist höher anzusehen als eine strenge Zielhierarchie, in der einem Ziel eine in der Praxis selten gerechtfertigte absolute Priorität eingeräumt wird.

Schließlich ist für die Tauglichkeit jedes Setzalgorithmus‘ entscheidend, dass es ihm gelingt, sein Ziel in einer vertretbaren Zeitspanne zu erreichen. Welcher Zeitraum dabei als vertretbar anzusehen ist, dürfte stark von der zu erwartenden Qualität der erzeugten Lösung abhängen. Kann der generierte Stundenplan ohne wesentliche Änderungen in die Praxis umgesetzt werden, wird der Planersteller vermutlich bereit sein, Laufzeiten von mehreren Stunden bis zu einem Tag zu akzeptieren, denn der Zeitraum, der ihm für die Planerstellung zur Verfügung steht, umfasst i.d.R. mehrere Tage oder sogar Wochen. Weist die erzeugte Lösung hingegen viele Unzulässigkeiten auf und muss der Planer deshalb umfangreiche manuelle Änderungen vornehmen, so wird der zeitliche Spielraum, den er dem Programm zubilligt, eher gering sein. Laufzeiteinschätzungen, die im Zuge der

Beurteilung bisheriger automatisierter Lösungsansätze durch mich vorgenommen werden, orientieren sich grob an der Rechengeschwindigkeit eines Intel Pentium III-500 MHz-Prozessors, da ich einen solchen Prozessor auch für meine eigenen Testrechnungen verwendet habe.

Die Tatsache, dass die in der [Tabelle 2.11](#) zusammengefassten Restriktionen und Zielsetzungen wesentlich auf den Ergebnissen meiner Befragung vom Winter 1997/98 beruhen, macht eine Präzisierung des räumlichen Gültigkeitsbereichs des durch die Tabelle vorgegebenen Kriterienkatalogs erforderlich. Dieser besitzt, da die Befragung in Berlin durchgeführt wurde, in jedem Fall für dieses Bundesland eine starke Relevanz. Da jedoch die Rahmenbedingungen der übrigen deutschen Bundesländer eine starke grundsätzliche Ähnlichkeit zu den Berliner Verhältnissen aufweisen, kann davon ausgegangen werden, dass der Kriterienkatalog auch auf diese Länder übertragbar ist. Insofern können die Beurteilungen, die anhand des Kriterienkatalogs für die behandelten Lösungsansätze ausgesprochen werden, für ganz Deutschland als gültig betrachtet werden. Eine direkte Übertragbarkeit auf Setzungsprobleme an Schulen außerhalb Deutschlands ist jedoch nur bedingt gegeben, da die Schulsysteme anderer Länder teilweise sehr stark vom deutschen System abweichen. Wohl aber ist es möglich, indirekte Schlüsse zu ziehen in der Weise, dass davon ausgegangen wird, dass ein Ansatz, der das bereits sehr komplexe deutsche Setzungsproblem lösen kann, an die spezifischen Situationen anderer Länder angepasst werden kann.

Tabelle 2.11: Kriterienkatalog für die Beurteilung von Lösungsansätzen

Kriterium	Erläuterung
Berücksichtigung der Restriktionstypen	
<ul style="list-style-type: none"> • Vollständigkeit: (R-01) • Kollisionsfreiheit: (R-02) • Sperrungen: (R-03) • Springstundenverbot für Klassen: (R-04) • Doppelunterrichtsverbot: (R-05) • Randstunden: (R-06) • Fixierungen: (R-07) • Wegezeiten: (R-09) • Freie Tage für Lehrer: (R-12) 	<p>Alle in der Unterrichtsverteilung enthaltenen Unterrichtseinheiten müssen entsprechend ihrer jeweiligen Spezifikation nach Definition 2.3 vollständig zugeordnet sein.</p> <p>Keine Klasse, kein Lehrer und kein Raum darf in irgendeiner Periode doppelt belegt sein.</p> <p>Keine Klasse, kein Lehrer und kein Raum darf in einer Periode belegt sein, für die er nicht verfügbar ist.</p> <p>Kein Stundenplan irgendeiner Klasse darf an einem Tag zwischen zwei belegten Unterrichtsstunden eine unterrichtsfreie Stunde (sog. Springstunde) aufweisen.</p> <p>Kein Stundenplan irgendeiner Klasse darf für irgendeinen Tag zwei Sitzungen ausweisen, die dasselbe Fach betreffen.</p> <p>Sitzungen bestimmter Unterrichtseinheiten müssen für jede beteiligte Klasse in eine Randstunde ihres Unterrichtstages gelegt werden.</p> <p>Etwaige manuell vorgenerierte Sitzungen müssen in den Stundenplan einbezogen werden.</p> <p>Bei großen räumlichen Entfernungen innerhalb der Schule sind die Sitzungen so zu planen, dass alle Wege innerhalb der Pausenzeiten zu bewältigen sind.</p> <p>Für bestimmte Lehrer muss der Anspruch auf einen oder mehrere unterrichtsfreie Tage berücksichtigt sein.</p>
Wahrscheinlichkeit einer zulässigen Lösung bzgl. aller o.g. Restriktionstypen	<p>subjektiv durch mich geschätzt, hängt insbesondere von der Einbeziehung der Restriktionen ab</p> <p>Vorsicht! I.d.R. gilt: zulässige Lösung im Sinne des jew. Ansatzes \neq zulässige Lösung im Sinne o.g. Restriktionen</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Gleichlange Klassentage: (Z-01) • Früher Unterrichtsbeginn: (Z-02) • Springstundenminimierung für Lehrer: (Z-06) • Vertretungsbereitschaft: (Z-10) • Fächerbeziehungen: (Z-12) 	<p>Die Unterrichtstage der einzelnen Klassen sollten möglichst gleichmäßig lang sein.</p> <p>Der Unterrichtstag einer Klasse sollte lieber früh enden als spät beginnen.</p> <p>Der Stundenplan sollte für jeden Lehrer möglichst wenig Springstunden, d.h. von zwei Unterrichtsstunden eines Tages eingerahmte unterrichtsfreie Stunden, aufweisen.</p> <p>Es sollte in jeder Stunde eine bestimmte Mindestanzahl von Lehrern für Vertretungszwecke zur Verfügung stehen.</p> <p>Bestimmte Fächerkombinationen, z.B. Sport und Schwimmen, sollten in einer Klasse nicht am selben Tag unterrichtet werden.</p>
Handhabung der Mehrfachzielsetzung	subjektive Bewertung aufgrund der im jew. Ansatz gewählten Abbildung der Mehrfachzielsetzung
Laufzeit	<p>durchschnittlich zu erwartende Dauer bis zur Terminierung des Algorithmus* auf einem Intel Pentium III-500 MHz-PC mit den Ausprägungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • kurz (wenige Minuten) • mittel (bis etwa eine Stunde) • lang (bis 24 Stunden) • unakzeptabel (länger als 24 Stunden)

2.5 Verwandtschaft zu anderen Stundenplanerstellungproblemen

Die Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen ist nah mit den Stundenplanungsproblemen anderer Organisationen verwandt. Besonders eng ist das Verhältnis zu Universitäten, an denen regelmäßig Lehrveranstaltungspläne erstellt werden müssen, die sich wie der Schulstundenplan auf einen Wochenzeitraum beziehen. Aber auch die Problematik der Erzeugung von Examensplänen für mündliche oder schriftliche Prüfungen an Universitäten, Schulen oder anderen Bildungseinrichtungen weist enge Beziehungen zur Stundenplanerstellung für den wöchentlichen Schulunterricht auf.

Da sowohl für die Veranstaltungsplanung an Universitäten wie auch für den Examensbereich in der Literatur zahlreiche Lösungsansätze berichtet werden, die für den Einsatz an Schulen adaptierbar sein könnten und die daher in die Analyse bisheriger Lösungsansätze in Kapitel 3 eingehen, soll an dieser Stelle kurz auf beide Problemfelder eingegangen werden. Dabei soll, entsprechend dem Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit, insbesondere die Setzungsproblematik vergleichend untersucht werden.

2.5.1 Veranstaltungspläne für Universitäten

Die Erstellung des Veranstaltungsplanes einer Universität bzw. einer Fakultät beinhaltet im weitesten Sinne die gegenseitige Zuordnung von Lehrveranstaltungen, in der Literatur oft als Kurse bezeichnet, Dozenten, Studenten, Räumen und Zeiten. Die Menge der Lehrveranstaltungen ergibt sich dabei aus der Studienordnung, die die Universität oder Fakultät ihren Dozenten und Studenten vorschreibt. Sie sieht i.d.R. sowohl Pflichtveranstaltungen, die alle Studenten eines Jahrgangs oder einer Studienrichtung besuchen müssen, als auch Wahlpflicht- und freiwillige Veranstaltungen vor, aus denen die Studierenden eine vorgegebene Anzahl auswählen. Häufig ist es Teil der Planungsaufgabe, die Studierenden stark belegter Kurse auf eine jeweils vorgegebene oder variable Anzahl an Unterkursen mit identischem Lehrinhalt aufzuteilen, die dann, je nach üblicher Regelung, entweder parallel denselben oder aber unterschiedlichen Zeitblöcken zugeordnet werden müssen.

Analog zur Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen lassen sich auch für die Veranstaltungsplanung einer Universität die Erstellung einer Unterrichtsverteilung und die Setzung dabei gewonnener Unterrichtseinheiten als zwei Teilprobleme identifizieren, für die unterschiedliche Anforderungen gelten und die daher i.d.R. separat betrachtet und gelöst werden.¹⁶ Dabei sind die Anforderungen an die Unterrichtsverteilung ähnlich gestaltet wie im Fall der Schulen. Die Unterrichtsverteilung *muss* die für den betrachteten Universitätsbereich gültige Studienordnung abdecken, die unterschiedliche Qualifikation und Pflichtstundenzahl der Dozenten berücksichtigen und die Raumanforderungen entsprechend den Bedürfnissen der Veranstaltung spezifizieren. Sie *soll* darüber hinaus die Präferenzen der Dozenten in Bezug auf die Veranstaltungsaufteilung so weit wie möglich berücksichtigen.

¹⁶ Vgl. Lajos [1996]. Ein simultaner Lösungsansatz findet sich bei Dinkel, Mote u. Venkataramanan [1989].

Auch das Setzungsproblem ist demjenigen an Schulen ähnlich, wenn auch mit einigen bedeutsamen Unterschieden. So sind analog zur Schulproblematik die Restriktionstypen Vollständigkeit, zeitliche Kollisionsfreiheit der Sitzungen in Bezug auf Dozenten und Räume, Sperrungen von Dozenten zu bestimmten Zeiten und Beachtung manuell vorab erzeugter Sitzungen relevant (vgl. Erben und Keppler [1996], Guéret et al. [1996]). Vergleichbar dem Doppelunterrichtsverbot an Schulen kann es vorkommen, dass mehrere Sitzungen eines Kurses am selben Tag unzulässig sind (vgl. Lajos [1996]). Schließlich kann die Einplanung eines oder mehrerer veranstaltungsfreier Tage für Dozenten sowie die Begrenzung der Sitzungszahl pro Tag und Dozent erforderlich sein (vgl. Akkoyunlu [1973]).

Anders als an Schulen spielt für Universitätseinrichtungen bei der Raumauswahl die Beachtung der für die einzelnen Unterrichtseinheiten festgelegten Teilnehmerzahl eine große Rolle, da diese stark schwankt und die verfügbaren Räume unterschiedliche Sitzplatzkapazitäten aufweisen (vgl. Schaerf [1999], Erben und Keppler [1996]). Auch existieren an Universitäten im allgemeinen keine Springstundenverbote, ja bisweilen werden Springstunden für Dozenten sogar explizit gefordert (vgl. Akkoyunlu [1973]). Schließlich ist die zeitliche Parallelisierung zweier Veranstaltungen, deren studentische Teilnehmergruppen sich überschneiden, in gewissem Umfange erlaubt (vgl. Schaerf [1999]), da sie bei einer großen Wahlfreiheit für die Studierenden unvermeidbar ist.

Die Anzahl der zeitlichen Parallelisierungen sich in der Teilnehmerschaft überschneidender Veranstaltungen so gering wie möglich zu halten, ist eine der Zielgrößen, die für die Veranstaltungssetzung genannt werden. Weitere Ziele beinhalten die gleichmäßige zeitliche Streuung der Sitzungen über die Woche, die Minimierung der Springstundenzahl für Dozenten und/oder Studierende, die Einhaltung von Veranstaltungszeiten, die von Dozenten und/oder Studierenden präferiert werden, und die optimale Ausnutzung der Sitzplatzkapazitäten (vgl. Erben und Keppler [1996]). Bei größeren räumlichen Entfernungen kann zudem die Berücksichtigung von Wegzeiten ein wichtiges Kriterium sein. Auch kann eine Präferenz für bestimmte zeitliche Reihenfolgen zwischen verschiedenen Veranstaltungen bestehen (vgl. Akkoyunlu [1973]). Insgesamt lässt sich, wie zuvor schon für den Schulbereich, auch für die Veranstaltungssetzung an Universitäten eine auffallende Zurückhaltung vieler Autoren hinsichtlich der zu verfolgenden Zielsetzungen feststellen (vgl. etwa Lajos [1996], Guéret et al. [1996]). Hintergrund dürfte auch hier sein, dass das Erreichen einer zulässigen Lösung aufgrund der hohen Planungskomplexität äußerst schwierig ist und daher die Suche nach einer guten Lösung im Sinne der oben genannten Ziele als sekundäres Problem erscheinen lässt.

Carter und Laporte [1998] unterscheiden zwei Varianten des Problems der Veranstaltungsplanerstellung: eine angebotsorientierte Planerstellung (Master Timetabling) und eine nachfrageorientierte Planerstellung (Demand-Driven Timetabling). Kennzeichen der angebotsorientierten Variante ist dabei die Setzung des Stundenplanes vor der Veranstaltungsauswahl durch die Studierenden, woraus sich folgende Abfolge zu lösender Teilprobleme ergibt:

1. Bestimmung der Unterkursanzahl je Kurs,
2. Bildung von Unterrichtseinheiten durch Zuordnung der (Unter-)Kurse zu Dozenten [= Erstellung der Unterrichtsverteilung]¹⁷,
3. Erzeugung von Sitzungen durch Zuordnung von Zeitblöcken und Räumen zu Unterrichtseinheiten [= Setzung],
4. Auswahl von Kursen durch die Studierenden,
5. Zuordnung der Studierenden zu Unterkursen innerhalb der Kurse,
6. „Verhandlungsphase“ (Änderungen auf den Einspruch Betroffener hin).

Die nachfrageorientierte Herangehensweise hingegen billigt den Studierenden eine Kursauswahl vor Beginn der eigentlichen Stundenplanerstellung zu. Als Problemabfolge lässt sich identifizieren:

1. Auswahl von Kursen durch die Studierenden,
2. Bestimmung der Unterkursanzahl je Kurs,
3. Bildung von Unterrichtseinheiten durch Zuordnung der (Unter-)Kurse zu Dozenten [= Erstellung der Unterrichtsverteilung],
4. Erzeugung von Sitzungen durch Zuordnung von Zeitblöcken und Räumen zu Unterrichtseinheiten [= Setzung],
5. Zuordnung der Studierenden zu Unterkursen innerhalb der Kurse,
6. „Verhandlungsphase“ (Änderungen auf den Einspruch Betroffener hin).

Beide von Carter und Laporte berichteten Problemaufteilungen machen deutlich, dass das Problem der Veranstaltungsplanerstellung an Universitäten häufig nicht nur aus der Erstellung einer Unterrichtsverteilung und einer anschließenden Setzung besteht. Oft gilt es, der Unterrichtsverteilung eine Aufteilung stark frequentierter Kurse entsprechend der Nachfrage und der verfügbaren Lehrkapazität vorzuschalten, aus der personell, räumlich und zeitlich zu besetzende Unterkurse hervorgehen. Die Aufteilung der Studierenden der betroffenen Kurse auf die jeweiligen Unterkurse stellt in diesem Fall ein weiteres Teilproblem der Veranstaltungsplanerstellung dar, dessen Hauptziel in der Minimierung zeitlicher Veranstaltungsüberschneidungen für die Studierenden bei gleichzeitig ausgeglichener Teilnehmerzahl der Unterkurse besteht (vgl. Carter und Laporte [1998], S.6).

¹⁷ Vgl. Carter und Laporte [1998], S.5. Die von den Autoren nicht gebrauchten, in kleinen eckigen Klammern zugeordneten Begriffe Unterrichtsverteilung und Setzung dienen zur Verdeutlichung der Verwandtschaft zur Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen und sind analog zu den in Abschnitt 2.1.2 festgelegten Begriffsdefinitionen zu verstehen. Der in große eckige Klammern eingefasste Punkt 2. wurde der Auflistung sinngemäß hinzugefügt, da Carter und Laporte die Zuordnung von Dozenten zu Unterkursen aus mir unerfindlichen Gründen nur in der Darstellung der nachfrageorientierten Problemvariante erwähnen.

Viele Beiträge der Literatur zur Veranstaltungsplanerstellung an Universitäten enthalten keine eindeutige Aussage darüber, ob sie sich mit der angebots- oder der nachfrageorientierten Problemvariante auseinandersetzen (vgl. Rich [1996], Erben und Keppler [1996]). Andere sind explizit für beide Varianten offen (vgl. White und Wong [1988]). Tatsächlich besteht aus lösungstechnischer Sicht zwischen Angebots- und Nachfrageorientierung kein signifikanter Unterschied, da sich durch den Zeitpunkt der Befragung der Studierenden nur die Informationsbasis, nicht aber die Struktur des aus Unterrichtsverteilung und Setzung bestehenden Kernproblems der Planerstellung ändert. Zwar liegen bei nachfrageorientiertem Vorgehen genauere Daten über die Bedürfnisse der Studierenden vor als bei Angebotsorientierung, doch gelten in beiden Fällen dieselben Restriktionen und Ziele hinsichtlich der zeitlichen Überschneidungsfreiheit von Veranstaltungen für die Studierenden. Im angebotsorientierten Fall wird dabei die direkte Befragung der Studierenden durch eine Schlussfolgerung aus den Erfordernissen der Studienordnung und ggf. durch Erfahrungswerte ersetzt.

Die von Carter dargestellten Problemabfolgen sind zudem nicht zwingend. So berichtet Dowsland [1993] von einer mit der Studentenzuordnung zu Unterkursen simultan erfolgenden Ermittlung der Unterkursanzahl für einen Computerkurs. Ziel ist dabei die Minimierung der Unterkursanzahl unter der Nebenbedingung der zeitlichen Kollisionsfreiheit der Unterkurse mit anderen, bereits feststehenden Sitzungen der Studierenden. Durch dieses Beispiel wird deutlich, dass die universitäre Praxis in Bezug auf die Zerlegung des Gesamtproblems der Stundenplanerstellung in Teilprobleme wesentlich heterogener ist als die schulische. Dennoch dürfte im Grundsatz auch für Universitäten die Aufteilung des Gesamtproblems auf die Teilprobleme Erstellung einer Unterrichtsverteilung und Setzung problemimmanent und nicht nur ein Aspekt des Lösungsprozesses sein, da nicht nur für beide Teilprobleme unterschiedliche, weitgehend separierbare Anforderungen gelten, sondern aus Sicht der Lehrkräfte meist eine eindeutige Priorität der Unterrichtsverteilung gegenüber der Setzung besteht.

Eine besonders enge Verwandtschaft zwischen der Stundenplanerstellung allgemeinbildender Schulen und der Veranstaltungsplanung an Universitäten äußert sich für diejenigen Schultypen, die ein Kurssystem beinhalten. So weist die Oberstufenplanung an Gymnasien und Gesamtschulen neben schultypischen Anforderungen wie dem Springstundenverbot für Klassen bzw. Jahrgangsstufen auch solche Merkmale auf, die typisch für die Planerstellung an Universitäten sind. Hier ist vor allem die Problematik der Aufteilung der Schüler auf Unterkurse unter Beachtung einer ausgewogenen Verteilung bei gleichzeitig weitestgehender Verwirklichung der von den Schülern gewünschten Fächerkombinationen zu nennen. Die Unterkursproblematik veranlasst die Schulleitung häufig dazu, die Oberstufenplanung separat vorzunehmen und sie der Planerstellung für die übrigen Schulbereiche zeitlich vorzulagern.

2.5.2 Examenspläne

Die Erstellung des Examensplanes einer prüfenden Bildungsinstitution, etwa einer Universität oder einer Schule, beinhaltet die gegenseitige Zuordnung von Prüfern, Prüflingen,

Examina, Räumen und Zeiten. Ein auffälliger Unterschied zum Stundenplanerstellungsproblem an Schulen besteht dabei darin, dass der Planungshorizont nicht notwendigerweise durch eine Woche abgegrenzt und seine Länge nicht immer von vornherein fix ist. Die Prüflinge sind zudem nicht in Klassen organisiert, sondern werden entweder einzeln oder in Gruppen geprüft, deren jeweilige Zusammensetzung sich von Examen zu Examen ändert.

Grundsätzlich kann auch in der Examensplanung das Gesamtproblem in ein Verteilungs- und ein Setzungsproblem aufgeteilt werden. Analog zur Unterrichtsverteilung an Schulen lässt sich dabei als Lösung des Verteilungsproblems eine Prüfungsverteilung definieren, die sich aus einer Menge von Prüfungseinheiten zusammensetzt, die jeweils bestimmen, welcher Prüfer welchem Prüfling bzw. welcher Prüflingsgruppe welches Examen abzunehmen hat. Wann und wo die Prüfung stattfindet, ergibt sich aus der anschließenden Setzung.

Die Unterscheidung der Teilprobleme Erstellung einer Prüfungsverteilung und Setzung wird meines Wissens in der Literatur an keiner Stelle explizit vorgenommen. Dies liegt vor allem daran, dass das Problem der Examensplanung häufig mit dem Teilproblem der Setzung gleichgesetzt wird, indem das Vorliegen einer Prüfungsverteilung zu Beginn der Planerstellung, implizit oder explizit, vorausgesetzt wird.¹⁸ In der Tat stellt sich das Problem der Erstellung einer Prüfungsverteilung in vielen Fällen überhaupt nicht, da sich die Festlegung, welcher Prüfling von welchem Prüfer in welchem Fach zu prüfen ist, automatisch aus der jeweils zugrundeliegenden Prüfungsordnung in Verbindung mit den von den Prüflingen während ihres Studiums oder ihrer Schulzeit vorgenommenen Fächerwahlen ergibt. Bei schriftlichen Examina kommt hinzu, dass die Anwesenheit des die Arbeit Beurteilenden nicht unbedingt erforderlich sein muss, so dass die Dimension des aktiven Handlungsträgers aus der Problematik herausfallen kann (so z.B. bei Balakrishnan [1991]).

Wie in die Stundenplansetzung an Schulen fließen auch in die Setzung von Prüfungsplänen Restriktionen und Zielsetzungen ein. Restriktionstypen stellen dabei die Vollständigkeit der Zuordnung, die zeitliche Kollisionsfreiheit von Examina mit sich überschneidenden Prüflingsgruppen oder Prüfern, die mögliche Sperrung von Prüfern, Prüflingen oder Räumen zu bestimmten Zeiten und ggf. die Beachtung manuell vorerzeugter Prüfungssitzungen dar (vgl. Carter, Laporte und Lee [1996]). Wichtig ist auch die Beachtung der in jeder Prüfungsperiode verfügbaren Raum- bzw. Sitzplatzkapazität sowie, in einigen Fällen, von Beschränkungen hinsichtlich zulässiger Reihenfolgen der Prüfungen. Darüber hinaus kann es erforderlich sein, Wegezeiten für Prüflinge und/oder Prüfer zu berücksichtigen (vgl. Boufflet und Nègre [1996]).

Ein wichtiges Ziel der Setzung ist die Sicherstellung möglichst großer Zeitabstände zwischen den Prüfungen der einzelnen Prüflinge (vgl. Johnson [1990], Bullnheimer [1998]) oder zumindest die Vermeidung der Zuordnung von Prüfungen mit sich überschneidenden Prüflingsgruppen zu benachbarten Perioden (vgl. Balakrishnan [1991]). Zusätzlich wird häufig angestrebt, Prüfungen mit hoher Teilnehmerzahl möglichst früh im Planungshori-

¹⁸ Vgl., stellvertretend für eine große Zahl anderer Autoren, Carter, Laporte und Lee [1996].

zont stattfinden zu lassen (vgl. Johnson [1990]) oder aber anderen Zeitpräferenzen zu entsprechen (vgl. Carter, Laporte und Lee [1996]). Ist die Länge des Prüfungszeitraums variabel, so kann es zudem ein Ziel sein, seine Länge zu minimieren (vgl. Schaerf [1999]). Demnach unterliegt auch die Examensplanung einer Mehrfachzielsetzung, deren Einzelziele in Konkurrenz zueinander geraten können.

Ein Beispiel dafür, dass es entgegen dem vorherrschenden Muster Fälle gibt, in denen Setzung und Erstellung einer Prüfungsverteilung ineinander übergehen, liefern Hansen und Vidal [1995], die die Problematik der landesweit geregelten Abschlussprüfungen dänischer Oberschulen beschreiben. In ihrem Ansatz erfolgt die Zuordnung von Mitarbeitern der Schulaufsicht (Censors) zu den abzunehmenden Prüfungen erst nach deren zeitlicher Fixierung.

2.5.3 Vergleich mit der Stundenplansetzung an Schulen

Einen vergleichenden Überblick über die Setzungsprobleme im Rahmen der Erstellung von Schulstundenplänen, universitären Veranstaltungsplänen und Examensplänen gibt [Tabelle 2.12](#). Bereits die Zahl der verschiedenen Restriktionstypen, die für die Probleme jeweils relevant sind, lässt vermuten, dass bei vergleichbarer Anzahlen an Unterrichts- bzw. Prüfungseinheiten das Schulproblem am schwierigsten zu lösen ist. Dieser Eindruck verstärkt sich, wenn man sich vor Augen führt, dass die einzelnen Lehrer und Klassen einer Schule in wesentlich mehr Perioden des Planungshorizontes aktiv sind als etwa die Dozenten und Studierenden eines Universitätsbereichs (vgl. Carter und Laporte [1998]). Das Risiko, während des Lösungsprozesses verbotene zeitliche Kollisionen zwischen Unterrichtseinheiten mit sich überschneidenden Lehrer- oder Klassenmengen zu erzeugen, ist daher an Schulen sehr hoch, während sich die Veranstaltungen eines Universitätsdozenten relativ leicht konfliktfrei planen lassen.

Am einfachsten dürften zulässige Lösungen für das Examenssetzungsproblem zu erreichen sein, denn der Lösungsraum wird verhältnismäßig wenig eingeschränkt und die Prüflinge sind nur an wenigen der potenziellen Prüfungstermine wirklich aktiv. Dies mag der Grund dafür sein, dass die in der Literatur berichteten Lösungsansätze für Examenssetzungsprobleme über die reine Zulässigkeit hinausgehende Zielvorstellungen i.d.R. sehr viel stärker einbeziehen, als dies bei den anderen Setzungsproblemen der Fall ist.

Obwohl die drei hier verglichenen Setzungsprobleme unterschiedliche Strukturen aufweisen, ist nicht auszuschließen, dass Lösungsansätze, die für die Setzung von Veranstaltungs- oder von Examensplänen entwickelt wurden, auf die Problematik an Schulen übertragen werden können. Ob ein Ansatz übernommen werden kann oder nicht, hängt letztendlich davon ab, inwieweit er an die besonderen Bedingungen der Stundenplansetzung an allgemeinbildenden Schulen angepasst werden kann. Dies zu prüfen, wird eine wesentliche Aufgabe der in Unterkapitel 3.2 dargestellten Untersuchung bisheriger in der wissenschaftlichen Literatur berichteter Lösungsansätze sein.

Tabelle 2.12: Setzungsprobleme im Vergleich

	Setzungsproblem für...		
	allgemeinbildende Schulen	Universitäten	Examina
Dimensionen <ul style="list-style-type: none"> • Auftrag • aktiver Handlungsträger • passiver Handlungsträger • Raum • Zeit 	Fachunterricht Lehrer Klasse Klassen- / Fachraum Stunde / Periode (innerhalb einer Woche)	Lehrveranstaltung Dozent Student Hörsaal / Fachraum Zeitblock (innerhalb einer Woche)	Examen Prüfer Prüfling Prüfungsraum Zeitblock (innerhalb eines fixen od. variablen Zeitraums)
Aufgabe	Zuordnung von Unterrichtseinheiten zu Zeiten und Räumen	Zuordnung von Unterrichtseinheiten zu Zeiten und Räumen	Zuordnung von Prüfungseinheiten zu Zeiten und Räumen
wichtigste Ziele	<ul style="list-style-type: none"> • früher Unterrichtsbeginn • bestimmte Fächer nicht am selben Tag • Vertretungsbereitschaft • gleichmäßig lange Unterrichtstage für Klassen • Minimale Lehrerspringstundenzahl 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimale Überschneidungen für Studenten • Einhaltung präferierter Veranstaltungszeiten und -räume • gleichmäßige Verteilung der Veranstaltungen über die Woche • Minimale Springstundenzahl für Dozenten und/oder Studenten • optimale Raumnutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Maximale zeitliche Streuung der Prüfungen jedes Prüflings • Einhaltung präferierter Prüfungszeiten • Prüfungen mit hoher Prüflingsanzahl möglichst früh • bei variabler Länge möglichst kurzer Prüfungszeitraum
Gültigkeit der Restriktionen <ul style="list-style-type: none"> • Vollständigkeit: • zeitliche Kollisionsfreiheit: • Sperrungen v. Ressourcen: • Fixierte Sitzungen: • vorgegebene Raumgruppe: • freie Tage für aktive Handlungsträger: • Doppelunterrichtsverbot: • Springstundenfreiheit für passive Handlungsträger: • Randstunden: • Wegezeiten: • Raumgröße: • Fächerreihenfolge: 	ja ja ja ja ja ja ja ja ja kann nein nein	ja Dozenten, Räume: ja Studenten: bei Pflichtkursen ja, sonst Ziel ja ja ja kann nein kann (häufig als Ziel) ja kann	ja ja ja ja kann nein nein nein nein ja kann
Erreichbarkeit einer zulässigen Lösung (tendenziell, bei vergleichbarer Problemgröße)	schwer (hohe Sitzungszahl für Lehrer und Klassen bei gleichzeitig starker Beschränkung des Lösungsraumes)	mittel (geringe Sitzungszahl für Dozenten bei mäßiger bis geringer Beschränkung des Lösungsraumes)	leicht (geringe Sitzungszahl für Prüfer und Prüflinge bei geringer Beschränkung des Lösungsraumes)

2.6 Zusammenfassung

Das generelle Problem der Stundenplanerstellung ist ein fünfdimensionales Zuordnungsproblem, welches zum Gegenstand hat, das räumliche und zeitliche Zusammentreffen aktiver und passiver Handlungsträger zum Zwecke der Ausführung einer Menge exogen vorgegebener Aufträge innerhalb eines definierten Zeithorizontes zu planen. Welche Restriktionen dabei zu berücksichtigen sind, ist zum großen Teil fallabhängig, doch sind allen Problemen die Forderungen der vollständigen Verplanung aller Aufträge und der zeitlichen Kollisionsfreiheit solcher Aufträge gemein, die sich hinsichtlich der beteiligten aktiven oder passiven Handlungsträger oder der genutzten Räume überschneiden. Die bei der Planerstellung verfolgten Zielsetzungen sind vollständig individuell. Sie sind i.d.R. mehrdimensionaler Natur.

Die Stundenplanerstellung an allgemeinbildenden Schulen beinhaltet die gegenseitige Zuordnung von Fächern, Lehrern, Klassen, Räumen und Unterrichtsstunden für einen einwöchigen Planungshorizont. Das Gesamtproblem gliedert sich dabei in zwei sequenziell zu lösende Teilprobleme: die Erstellung einer Unterrichtsverteilung und die Setzung.

Die Unterrichtsverteilung spezifiziert in Form einer Menge von Unterrichtseinheiten, welche Lehrer mit welchen Klassen jeweils wie oft und wie lange zu welchem Fachunterricht zusammentreffen sollen und welche Raumausstattung dazu erforderlich ist. Wichtige Rahmenbedingungen dieser Zuordnung stellen das für die Schule gültige Curriculum sowie die fachliche Qualifikation und Kapazität der verfügbaren Lehrer dar. Die verfolgten Zielsetzungen beinhalten Präferenzen der Schulleitung und der Lehrer hinsichtlich bevorzugter oder zu vermeidender Zuordnungen, wobei Zielkonflikte möglich sind. Aufgrund der schwer zu fassenden Subjektivität der Zielgrößen bei gleichzeitig überschaubarer Komplexität erscheint die Eignung quantitativer Lösungsmethoden für die Erstellung von Unterrichtsverteilungen fraglich.

Die Setzung schließt sich an die Erstellung der Unterrichtsverteilung an. Sie regelt die Zuordnung der dort definierten Unterrichtseinheiten zu konkreten Räumen und Perioden. Das Ergebnis ist ein Stundenplan, der sich aus einer Menge einzelner Sitzungen konstituiert. Bei der Setzung sind zahlreiche Restriktionen zu beachten, die über die oben genannten Nebenbedingungen des generellen Stundenplanstellungsproblems weit hinausgehen. So darf der Stundenplan für Klassen zwischen zwei Unterrichtsstunden eines Tages keine unterrichtsfreien Stunden (Springstunden) aufweisen, und es darf kein Fach in einer Klasse zweimal am selben Tag unterrichtet werden. Empirisch bestätigt wurde die Relevanz der Forderung, Unterrichtseinheiten bestimmter Fächer in Randstunden eines Tages zu legen. Dasselbe gilt für die Notwendigkeit, bestimmten Lehrern unterrichtsfreie Tage einzuräumen sowie Wegezeiten zwischen weit voneinander entfernten Unterrichtsräumen zu berücksichtigen.

Auch das Setzungsproblem unterliegt einer Mehrfachzielsetzung. Hohe Relevanz besitzen in der Praxis Wünsche nach gleichmäßig langen Unterrichtstagen für die Klassen, nach einem möglichst frühen Klassen-Unterrichtsbeginn, nach einer möglichst geringen Springstundenanzahl für Lehrer und nach Sicherung einer Vertretungsbereitschaft für verhinderte

Lehrer. Zudem soll häufig sichergestellt sein, dass bestimmte unterschiedliche Fächer in einer Klasse nicht am selben Tag unterrichtet werden. Da der Zielkatalog konkurrierende Größen beinhaltet, ist es erforderlich, bei insgesamt möglichst hoher Zielerreichung einen ausgewogenen Kompromiss aller Interessen zu finden.

Das Setzungsproblem gehört zur Klasse der NP-vollständigen kombinatorischen Probleme. Nur für sehr spezielle Fälle kann eine generelle Aussage über die Existenz einer Lösung getroffen werden. Jeder potenzielle Lösungsansatz steht daher vor einer äußerst schwierigen Aufgabe und ist einer genauen Eignungsprüfung hinsichtlich der Sicherstellung einer zulässigen Lösung, der Berücksichtigung des Zielkatalogs und seiner Lösungsgeschwindigkeit zu unterziehen. Diese Eignungsprüfung für bereits bekannte Lösungsansätze durchzuführen, ist die Aufgabe des folgenden Kapitels. Dabei sollen auch solche Verfahren Berücksichtigung finden, die für die verwandten Problemstellungen der Veranstaltungsplanansetzung an Universitäten und der Setzung von Examensplänen entwickelt wurden und die möglicherweise auf das Setzungsproblem an Schulen übertragen werden können.