

Juretzka, Jan; Böhler, Catharina; Drexler, Andreas

Working Paper — Digitized Version

Ein Decision Support System zur universitären Prüfungsplanung

Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 530

Provided in Cooperation with:

Christian-Albrechts-University of Kiel, Institute of Business Administration

Suggested Citation: Juretzka, Jan; Böhler, Catharina; Drexler, Andreas (2000) : Ein Decision Support System zur universitären Prüfungsplanung, Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 530, Universität Kiel, Institut für Betriebswirtschaftslehre, Kiel

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/147609>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Manuskripte
aus den
Instituten für Betriebswirtschaftslehre
der Universität Kiel

Nr. 530

**Ein Decision Support System
zur universitären Prüfungsplanung**

Jan Juretzka[†], Catharina Böhler[‡], Andreas Drexl[‡]



1 Problemstellung

Im Verlauf der letzten Jahre hat der Reformdruck auf die deutschen Hochschulen zugenommen. Ursächlich für diesen Reformdruck sind unter anderem die Unterschätzung der Anzahl der Studienanfänger,¹ die nicht marktgerechte Produktion von Universitätsabsolventen² sowie die prekäre Finanzlage des Bundes und der Länder.³ Während die hohe Anzahl Studierender zu einer Überfüllung der Universitäten führt, trägt die nicht marktgerechte Produktion von Universitätsabsolventen — unabhängig davon, ob dieser Umstand den Studierenden, den Universitäten oder dem Staat anzulasten ist — zu einer Forderung nach geänderten, insbesondere verkürzten Ausbildungsgängen bei. Erschwert wird die Bewältigung derartiger Herausforderungen durch die angespannte Finanzlage des Bundes und der Länder und die dadurch induzierten Kürzungen in den Hochschulbudgets, welche teilweise weitreichende Einschränkungen des Dienstleistungsangebots im tertiären Bildungssektor erzwingen. Die Erfüllung des Bildungsauftrags der Universitäten scheint in Gefahr.

Angesichts dieser schwierigen Situation ist es aus Sicht des Hochschulmanagements unerlässlich, neuen — gerade auch finanziellen — Handlungsspielraum zu gewinnen. Neben der Durchführung von Evaluationen,⁴ der Reform der Leitungsstruktur⁵ und der Verwendung erfolgsabhängiger Steuerungsmechanismen⁶ bietet sich zur Steigerung der Effizienz des „Unternehmens“ Hochschule der Einsatz neuartiger Decision Support Systeme an. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der in den letzten Jahren erzielten Fortschritte auf dem Gebiet der Informationstechnologie.

Die vorliegende Arbeit stellt Modelle, Methoden sowie ein Decision Support System zur Steigerung der Effizienz der universitären Prüfungsplanung bereit.

Prüfungen zählen zu den wichtigsten Vorgängen im Universitätsgeschehen, und deren effiziente Administration muß daher auch ein Kernanliegen der Universitätsverwaltung sein. In diesem Zusammenhang sind sowohl der direkte Planungsprozeß als auch das Umfeld der Prüfungsplanung zu berücksichtigen. Der direkte Planungsprozeß kennzeichnet die eigentliche Erstellung des Prüfungsplanes, also die zeitliche Einplanung der Prüfungen. Das Umfeld der Prüfungsplanung umfaßt die vor- und nachbereitenden Aktivitäten. Unberücksichtigt bleiben hierbei die Aufgaben der Prüfungsämter, welche nicht in Verbindung zur Planung der Prüfungen stehen.

Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit steht der direkte Planungsprozeß. In die-

¹Fandel (1998) verdeutlicht die diesbezüglichen, langfristigen Fehlentwicklungen.

²Deutlich wird die nicht marktgerechte Qualifikation von Universitätsabsolventen insbesondere durch das Fehlen hochqualifizierter Experten auf dem Gebiet der Informationstechnologie. So besteht nach Aussage von Bundeskanzler Schröder die Absicht, „zur Deckung dieses kurzfristigen, durch Weiterbildung und Ausbildung nicht zu deckenden Bedarfs Aufenthalts- und Arbeitserlaubnisse für 20.000 Spitzenkräfte in diesem Bereich“ (Schröder 2000) zu erteilen.

³So lag die Verschuldung des Staates im Jahre 1999 mittlerweile bei 61,0% des Bruttoinlandsproduktes; vgl. Deutsche Bundesbank (2000).

⁴Zur Evaluation wirtschaftswissenschaftlicher Fachbereiche vgl. z. B. Kieser (1996).

⁵Vgl. dazu unter anderem Debus (1996), Durst (1999), Fandel (1998) und Speck (1996).

⁶In diesem Zusammenhang hebt Albers (1999) hervor, dass bei der Zuteilung von Mitteln nicht nur auf den Erfolg einer Hochschuleinheit, sondern auch auf dessen Fähigkeit, zusätzliche Mittel in weitere Erfolge umzusetzen, abzustellen ist.

sem Kontext bedarf es sowohl für die schriftliche als auch für die mündliche Prüfungsplanung⁷ an deutschen Hochschulen der Ableitung der praxisrelevanten Anforderungen, deren Überführung in entsprechende Modellformulierungen sowie der Entwicklung adäquater Methoden. Darauf basierend erfolgt die Konzeption und Realisierung eines Decision Support Systems zur universitären Prüfungsplanung.

Berufsbezogene⁸ Prüfungsverfahren sind an den strengen Voraussetzungen des Art. 12 Abs. 1 GG in Verbindung mit Art. 3 Abs. 1 GG zu messen.⁹ Danach ist *Chancengleichheit*, als spezielle Ausprägung des allgemeinen Gleichbehandlungsgrundsatzes, zu gewährleisten. Dieser prüfungsrechtliche Gleichbehandlungsgrundsatz „gebietet, dass für vergleichbare Prüflinge soweit wie möglich vergleichbare Prüfungsbedingungen und Bewertungskriterien gelten“.¹⁰

Universitäre Prüfungsämter sind als Organe der Selbstverwaltungskörperschaft Universität und damit der vollziehenden Gewalt nach Art. 1 Abs. 3 GG unmittelbar an die Grundrechte gebunden. Demnach sind sie zur Schaffung vergleichbarer Prüfungsbedingungen verpflichtet. Die zeitliche Abfolge mündlicher Prüfungen kann als eine solche Bedingung des Prüfungsverfahrens angesehen werden.¹¹

Die im weiteren Verlauf der Arbeit vorgestellten Ansätze zur Erstellung von Prüfungsplänen haben diese verfassungsrechtlich gewährte Garantie auf Chancengleichheit in angemessener Weise zu berücksichtigen. Eine Gefährdung der Chancengleichheit ist insbesondere dann zu befürchten, wenn einzelne Prüflinge innerhalb eines relativ kurzen Zeitraumes zu mehreren Prüfungen herangezogen werden, während vergleichbare andere Prüflinge unverhältnismäßig mehr Zeit zur Erholung und Umstellung auf den nächsten Prüfungsstoff erhalten.¹² Eine Verletzung der Chancengleichheit durch eine derartige Prüfungssituation wäre als verfassungswidrig anzusehen.¹³

Zur Gewährleistung der Chancengleichheit streben die vorgestellten Ansätze nach einer zeitlichen Entzerrung der einzuplanenden Prüfungen, wobei die *zeitliche Entzerrung* zweier Prüfungen umso bedeutsamer ist, je geringer der in Betracht gezogene zeitliche Abstand ist.

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut: In Abschnitt 2 wird der Stand der Forschung dargestellt. Abschnitt 3 dient der Beschreibung der Anforderungen an einen praxisrelevanten

⁷Der Begriff schriftliche (mündliche) Prüfungsplanung bezeichnet die Erstellung eines Planes für schriftliche (mündliche) Prüfungen.

⁸Die Berufsbezogenheit von Prüfungen liegt vor, sobald ihr erfolgreiches Bestehen Zugangsvoraussetzung für eine bestimmte Berufstätigkeit ist oder die berufliche Entwicklung hierdurch wesentlich beeinflusst wird.

⁹Vgl. dazu BVerfGE 37, 342 (8352 ff.); 79, 212 (2218 ff.); 84, 34 (50 ff.).

¹⁰Zimmerling (1998).

¹¹Vgl. z. B. Zimmerling (1998).

¹²Auch Zimmerling (1998) verweist auf die Relevanz der Vorbereitungszeit für einen Prüfling.

¹³Der von der rechtswidrigen Verfahrensweise betroffene Prüfling hätte die Möglichkeit, gegen dieses Verwaltungshandeln rechtlich vorzugehen; denn ein Verwaltungsakt, der aufgrund eines Verfahrens ergangen ist, welches gegen höherrangiges Recht verstößt, ist rechtlich angreifbar und von den zuständigen Verwaltungsgerichten aufzuheben.

Ansatz. In Abschnitt 4 wird ein mathematisches Modell zur Präzisierung der Problemstellung formuliert. Abschnitt 5 dient schließlich der Darstellung des entwickelten Decision Support Systems.

2 Stand der Forschung

Das Problem der Prüfungsplanung gehört zur Klasse der Timetabling-Probleme.¹⁴ Bei dieser Art von Problemen geht es darum, Objekte — beispielsweise Vorlesungen, Schulstunden, Prüfungen — unter Beachtung von Nebenbedingungen zeitlich so zuzuordnen, dass einer oder einer Vielzahl von verfolgten Zielsetzungen Rechnung getragen wird.¹⁵ Erschwert wird diese Aufgabe in der Regel dadurch, dass kein klares Zielsystem vorliegt. Deshalb erfolgt die Auswahl des endgültigen Prüfungsplanes üblicherweise unter Hinzuziehung eines Experten, der gegebenenfalls notwendige Änderungen am Timetable manuell vornimmt.

Im einfachsten Fall wird versucht, eine Menge von Prüfungen so auf eine begrenzte Anzahl von Perioden zuzuordnen, dass kein Prüfling für mehr als eine Prüfung gleichzeitig eingeplant wird.¹⁶ Falls eine solche Zuordnung nicht gefunden wird, ergeben sich zwei Möglichkeiten: zum einen ließe sich die Anzahl der für die Prüfungen vorgegebenen Perioden ausdehnen, um daraufhin erneut nach einer Zuordnung zu suchen, zum anderen kann die gefundene Zuordnung trotz ihrer Mängel Verwendung finden.¹⁷

Die Problemstellung läßt sich im einfachsten Fall als Graphenfärbungsproblem darstellen. In einem schlichten, ungerichteten Graphen wird jede Prüfung durch einen Knoten repräsentiert. Zwei Knoten werden durch eine Kante verbunden, wenn die zugehörigen Prüfungen zumindest teilweise dieselben Prüflinge nachfragen. Durch eine Kante miteinander verbundene Knoten, d. h. Prüfungen, werden als adjazent zueinander bezeichnet. Gesucht wird eine Zuordnung, bei der jedem Knoten eine Farbe — diese spiegeln die zeitliche Zuordnung zu einer Periode wider — aus einer vorgegebenen Anzahl an Farben derart zugewiesen wird, dass keine Kante in zwei Knoten mit derselben Farbe endet. Dies entspricht einem Prüfungsplan, bei dem adjazente Prüfungen in keinem Fall zur selben Zeit stattfinden.¹⁸

Falls für die vorgegebene Anzahl Farben keine zulässige Lösung, d. h. Färbung des Graphen, gefunden wird, ergeben sich zwei Möglichkeiten: einerseits ließe sich die Anzahl Farben erhöhen, andererseits kann eine derartige Lösung trotz ihrer Konflikte¹⁹ herangezogen werden. In einer solchen Situation wird dann beispielsweise nach einer Minimierung der Anzahl Konflikte gestrebt.

Falls die verfolgte Zielsetzung der Prüfungsplanung jedoch in der Minimierung der Länge des Prüfungszeitraumes besteht, entspricht dies der Bestimmung der chromatischen

¹⁴Zu einer Einführung vgl. zum Beispiel de Werra (1985).

¹⁵Vgl. beispielsweise Wren (1996).

¹⁶Identische Dauer der Prüfungen von einer Periode vorausgesetzt.

¹⁷Vgl. z.B. Mehta (1981).

¹⁸Eine Kante kann auch eingeführt werden, wenn zwei Prüfungen aus anderen Gründen nicht zeitgleich eingeplant werden dürfen.

¹⁹Ein Konflikt besteht, wenn eine Kante in zwei Knoten mit derselben Farbe endet.

Zahl eines schlichten, ungerichteten Graphen.²⁰ Die chromatische Zahl ist die minimal benötigte Anzahl Farben, um einen derartigen Graphen konfliktfrei einzufärben.

Hervorzuheben ist, dass in den Ansätzen sowohl zur Graphenfärbung als auch zur Prüfungsplanung insbesondere der Reihenfolge, in der den Knoten eine Färbung zugeordnet wird (Einplanungsreihenfolge) eine große Bedeutung beigemessen wird.

Im Hinblick auf die Entwicklung geeigneter Verfahren zur Prüfungsplanung ist zu untersuchen, inwieweit sich Problemstellungen der Prüfungsplanung in solche der Graphenfärbung überführen lassen. Aber selbst die einfachste Problemstellung läßt eine Reihe von Fragen, welche von elementarer Bedeutung für die Übertragbarkeit von Graphenfärbungsalgorithmen sind, unbeantwortet. Offengeblieben ist unter anderem: Wie sollte eine Prüfung im Hinblick auf die zu erfolgende Zuordnung geeignet definiert sein? Wie lang ist eine Periode, und sind unterschiedliche Dauern der Prüfungen zu berücksichtigen? Erfolgt lediglich eine zeitliche Zuordnung? Welche Nebenbedingungen müssen im Rahmen der Zuordnung beachtet werden? Welchen Zielsetzungen muß zudem Rechnung getragen werden?

Die Beantwortung dieser Fragen hängt insbesondere davon ab, ob die Planung schriftlicher oder mündlicher Prüfungen betrachtet wird. Deshalb soll nachfolgend auf deren jeweilige Besonderheiten separat eingegangen werden.

Unter dem Begriff 'Examination Timetabling' wird im angelsächsischen fast ausnahmslos die Planung schriftlicher Prüfungen behandelt. Hierbei stellt die Prüfung eine Kombination aus einem Fach und mehreren Prüflingen, die in diesem Fach zu prüfen sind, dar. Beabsichtigt wird, die Prüfungen aller Prüflinge so auf Perioden zuzuordnen, dass kein Prüfling zwei oder mehr Prüfungen gleichzeitig zu absolvieren hat. Gegebenenfalls erfolgt simultan dazu die Zuordnung auf einen Raum. Bestrebungen, ein für viele praktische Problemstellungen anwendbares Modell nebst Lösungsverfahren zu entwickeln, stehen vor dem Dilemma, dass je nach Institution unterschiedliche Anforderungen in Form von Restriktionen und Zielsetzungen einzubeziehen sind.

Üblicherweise werden in einer mündlichen Prüfung ein oder mehrere Prüflinge von einem oder mehreren Prüfern in einem Fach geprüft. Nicht immer steht dabei vorab fest, welcher Prüfer einen Prüfling in einem Fach prüft. Diese Zuordnung geschieht unter Umständen erst im Zuge der Erstellung des Prüfungsplanes. Ferner ist vorab in aller Regel unklar, welche Prüflinge eine Prüfung gemeinsam abzulegen haben. Der Unterschied zu den schriftlichen Prüfungen besteht im wesentlichen darin, dass die Prüflinge eines Faches ihre Prüfungen nicht zeitgleich und durchaus nicht zwangsläufig bei demselben Prüfer abzulegen haben. Obwohl die mündlichen Prüfungen letztlich Tageszeiten an bestimmten Tagen zuzuordnen sind, werden die mündlichen Prüfungen in der Praxis häufig erst auf Tage und im Anschluß daran auf Tageszeiten verteilt. Somit ist nicht unmittelbar ersichtlich, welche Periodisierung zur Darstellung des Problems angemessen ist.

Unabhängig davon, ob zu Beginn der Planung bereits feststeht, von welchem Prüfer ein Prüfling in einem Fach zu prüfen ist, seien die folgenden, als wesentlich erachteten Anforderungen genannt:²¹ (a) Einzelne Prüfungen dürfen nur für eine Teilmenge aller Perioden

²⁰Präziser ausgedrückt wird nicht die chromatische Zahl selbst, sondern eine zugehörige Färbung des Graphen gesucht.

²¹Die angeführten Anforderungen sind nicht in jedem Fall vollständig disjunkt; zu den Anforderungen

berücksichtigt werden. (b) Die begrenzte Verfügbarkeit der Prüfer ist (möglichst weitgehend) zu beachten. (c) Eine Teilmenge von Prüfungen muß hinsichtlich einer Teilmenge von Perioden bestimmte Anforderungen erfüllen. Beispielsweise dürfen zwei Prüfungen eines Prüflings nicht für Perioden desselben Prüfungstages vorgesehen werden. (e) Hinsichtlich der Zuordnung von Prüfungen zu bestimmten Perioden bestehen Präferenzen. (f) Die Anzahl nicht eingeplanter Prüfungen ist zu minimieren. (g) Die Anzahl der Prüflingskonflikte ist zu minimieren. (h) Je Prüfer ist die Anzahl benötigter Prüfungstage zu minimieren. (i) Die Belastung der Prüfer an den einzelnen Prüfungstagen muß relativ gleichmäßig verteilt sein. (j) Prüfungen eines Prüflings sind möglichst „gut“ zu entzerren. Die Relevanz beispielsweise der Entzerrung zweier Prüfungen eines Prüflings wird in der Regel als umso wichtiger eingestuft, je geringer der vorgesehene zeitliche Abstand ist.

Die keinesfalls vollständige Liste der Anforderungen an mündliche Prüfungspläne deutet die Heterogenität der betrachteten Problemstellungen an. So sind je nach Problemstellung unterschiedliche Anforderungen in geeigneter Weise zu berücksichtigen. Im Gegensatz zur Planung schriftlicher Prüfungen, welche auch durch eine derartige Vielfalt an Anforderungen geprägt ist, fällt auf, dass weder Reihenfolgebeziehungen zwischen den Prüfungen zu beachten noch Zuordnungen auf Räume vorzunehmen sind.²²

In der vorliegenden Arbeit ist eine mündliche Prüfung durch genau einen Prüfling und ein Fach beziehungsweise eine Fach-Prüfer-Kombination definiert. Im ersten Fall ist noch festzulegen, von welchem Prüfer oder welchen Prüfern die Prüfung abzunehmen ist, während im zweiten Fall feststeht, wer die Prüfung des Prüflings in dem Fach abnimmt. Im folgenden werden vier Ansätze kurz vorgestellt.

Jünke (1991): In dieser Arbeit wird ein Prüfungsplan unter der Annahme gegebener Fach-Prüfer-Kombinationen erstellt, wobei die Prüfungen eines Prüflings für unterschiedliche Prüfungstage vorzusehen sind. Im Zuge der Planerstellung verfolgt er die aufgeführten Zielsetzungen gemäß der angegebenen Reihenfolge.²³ (a) Maximiere die Anzahl eingeplanter Prüfungen. (b) Minimiere die Anzahl je Prüfer benötigter Prüfungstage. (c) Verteile die Prüfungen der Prüfer möglichst gleichmäßig auf deren Prüfungstermine. (d) Vermeide, dass einzelne Prüflinge zu Prüfungen an einem Nachmittag und dem darauffolgenden Vormittag vorgesehen werden.

Die Bedeutung der Zielsetzungen spiegelt sich auch im Ablauf des von Jünke (1991) vorgeschlagenen Verfahrens wider. So füllt er die Prüfungstage — absteigend nach der Anzahl einplanbarer Prüfungen sortiert — der aktuell betrachteten Fach-Prüfer-Kombination nacheinander soweit wie möglich mit Prüfungen — absteigend nach der Anzahl Prüfungen des zugehörigen Prüflings sortiert — auf. Vorzugsweise werden dabei Gruppen von jeweils vier Prüfungen eingeplant. Durch die sukzessive Hinzunahme weiterer Prüfungstage verfolgt er die Minimierung der Anzahl der jeweils benötigten Prüfungstage.

vgl. Cangalovic et al. (1998), David (1998), Hertz (1991) sowie Jünke (1991).

²² Gegebenenfalls werden die Prüfungen im weiteren Verlauf auf Räume zugeordnet. In den vorliegenden Arbeiten wird es aber nicht als nötig erachtet, diesen Sachverhalt in die Problemstellung mit aufzunehmen.

²³ Jünke (1991) selbst stuft die Zielsetzungen (b)–(d) als Subziele ein und behandelt sie gemäß der angegebenen Reihenfolge. Die Zielsetzungen sind entsprechend dem Sprachgebrauch der hier vorliegenden Arbeit formuliert.

Weitere Prüfungstage werden nur hinzugenommen, falls dies in Anbetracht der vorrangigen Zielsetzung 'Maximiere die Anzahl eingeplanter Prüfungen' notwendig ist. Die jeweils als nächstes einzuplanende Fach-Prüfer-Kombination verfügt über die wenigsten „Ausweichmöglichkeiten“ und bei Gleichheit dieses Maßes über das geringste „Angebot“.²⁴

Falls nicht alle Prüfungen zulässig eingeplant worden sind, wird in der nächsten Phase versucht, diese mittels verschiedener Austauschtaktiken einzuplanen. Wiederum spiegelt sich die Bedeutung der Zielsetzungen im Ablauf des Verfahrens wider. Zuerst werden Austauschtaktiken herangezogen, die auf Basis der bereits eingeplanten Prüfungstage operieren. Erst wenn dies zu keiner zulässigen Lösung führt, kommen Austauschtaktiken zum Einsatz, die weitere, bisher ungenutzte Prüfungstage heranziehen.

Der Zielsetzung 'Verteile die Prüfungen der Prüfer möglichst gleichmäßig auf deren Prüfungstermine' wird in der folgenden Phase des Verfahrens Rechnung getragen. Es erfolgt die Verschiebung einzelner Prüfungen auf andere Prüfungstermine, damit ein Prüfling zum Beispiel zusammen mit möglichst drei oder zwei anderen Prüflingen von einem Prüfer geprüft werden kann.

Im Anschluß an die Vergabe von Tageszeiten wird untersucht, ob einzelne Prüflinge zu Prüfungen an einem Nachmittag und einem darauffolgenden Vormittag vorgesehen worden sind. Falls dies der Fall ist, erfolgt soweit möglich eine Umplanung der Prüfungen innerhalb der jeweiligen Prüfungstage.

Eine Schwäche des beschriebenen Verfahrens besteht in der Trennung des Lösungsraumes. Deutlich wird dies beispielsweise, wenn in der letzten Phase eine Umplanung von Prüfungen innerhalb der Prüfungstage betrachtet wird. Unter Umständen ließe sich die letztgenannte Zielsetzung ohne Verschlechterungen hinsichtlich der übrigen Zielsetzungen wesentlich besser erfüllen, wenn die Verschiebung einzelner Prüfungen auf andere Prüfungstage hier noch möglich wäre. Bedauerlich ist ferner, dass zum einen keine explizite Modellformulierung angegeben wird und zum anderen bzgl. Details auf den Programmcode verwiesen wird.

Hertz (1991): Hier wird eine Vorgehensweise verwendet, welche an die auf Gruppenbildung basierenden Verfahren zur Planung schriftlicher Prüfungen erinnert. So faßt er die Prüfungen eines Faches zu mehreren (initialen) Gruppen zusammen, welche im weiteren Verlauf auf Halbtage zugeordnet werden. Die zeitliche Zuordnung der Gruppen erfolgt mittels eines ersten Tabu Search-Verfahrens, welches die Strafkosten aus der zeitgleichen Einplanung nicht parallel einplanbarer Prüfungen, der Durchführung derartiger Prüfungen an einem gemeinsamen Prüfungstag und der zu frühzeitigen Einplanung bestimmter Prüfungen minimiert. Kennzeichnend für dieses Tabu Search-Verfahren ist zum einen, dass die Auswahl des als nächstes durchzuführenden Zuges — erlaubt sind Verschiebungen von Gruppen auf andere Perioden — auf der Hälfte aller möglichen Züge basiert,²⁵ und zum anderen, dass eine statische, starre Tabuliste verwendet wird, welche die Ver-

²⁴Sowohl „Ausweichmöglichkeiten“ als auch „Angebot“ werden in Jünke (1991) nicht hinreichend spezifiziert.

²⁵Dies erinnert an die als 'peckish' bezeichnete Vorgehensweise von Corne und Roos (1996) im Rahmen der Bestimmung einer initialen Population für einen genetischen Algorithmus.

schiebung einer Gruppe auf eine innerhalb der Tabudauer belegte Periode verbietet.²⁶

Nach Bestimmung eines Prüfungsplanes auf Basis der vorliegenden Gruppen von Prüfungen startet ein zweites, dem ersten ähnelndes Tabu Search-Verfahren. Ein Zug dieses Verfahrens besteht in der Vertauschung zweier Prüflinge zwischen zwei zu einem Fach gehörenden Gruppen.²⁷ Weiterhin ist die Summe der oben angegebenen Strafkosten zu minimieren. Die zeitliche Planung der Gruppen und die Umbildung der Gruppen wechseln sich bis zum Erreichen eines Abbruchkriteriums ab.

Hertz (1991) stellt einen interessanten Ansatz vor, der insbesondere durch Verwendung von Tabu Search in beiden Phasen des Verfahrens eine Weiterentwicklung gegenüber dem Ansatz von Aubin und Ferland (1989) vermuten läßt. Zur Evaluierung seines Verfahrens verweist er auf einen zufriedenstellend gelösten realen Datensatz. Welche Komponenten des Verfahrens — wie Nachbarschaft, Tabuliste — von Relevanz sind, wird nicht untersucht. Deshalb ist unklar, ob das Verfahren der Problemstellung angemessen ist. Abschließend sei angemerkt, dass Prüfer beispielsweise die maximale Anzahl an Prüfungstagen, an denen sie zu prüfen wünschen, nicht vorab spezifizieren können.

Davis (1998): Hier werden an einer Hochschule die Eingangstests jeweils eines Tages mittels eines auf Constraint Programming basierenden Ansatzes geplant.²⁸ Die Prüfungen sind sowohl einem Prüfer — von Schulen entsandte Lehrer — als auch einer Periode zuzuordnen, d. h. die Fach-Prüfer-Kombinationen sind zu bestimmen.

Die Einhaltung der Restriktionen wird im Zuge der fortlaufenden Aktualisierung der Domains garantiert. Hinsichtlich der Zielsetzungen wird ein ähnliches Vorgehen wie bei Jünke (1991) gewählt, der die Zielsetzungen gemäß ihrer Bedeutung in seinem Verfahren berücksichtigt.

So erfolgt in der ersten Phase des Verfahrens eine Zuordnung der Prüfungen auf Prüfer unter Beachtung einer Zielsetzung wie 'Kein Prüfling sollte einem Prüfer seiner Schule zugeordnet werden'. Hierbei wird für jede Periode eines Prüfers eine Domain bestehend aus den durch ihn zu prüfenden Prüflingen angelegt. In der zweiten Phase, der zeitlichen Zuordnung, wird jeweils die nächste, noch nicht verplante Periode herangezogen. Für diese Periode wird der Prüfer mit der kleinsten aktuellen Domain ausgewählt. Aus dieser wird daraufhin der Prüfling eingeplant, für den die kleinste verbleibende Domain eines der anderen, für diese Periode noch nicht eingeplanten Prüfers maximal ist. Sollte die Domain des ausgewählten Prüfers leer sein, erfolgt die Anwendung einer Reihe von Austauschaktiken, um so dem Prüfer noch einen Prüfling zuzuordnen. Ein vollständiges Backtracking ist nicht vorgesehen. Eine Zielsetzung wie 'Die Prüfer sollten während des Tages keine freien Perioden haben' wird dadurch berücksichtigt, dass die Perioden nacheinander möglichst vollständig verplant werden.

Die Abstufung der Zielsetzungen wird anhand der Reihenfolge des Einsatzes der Austauschaktiken deutlich. So kann erst ganz zuletzt die Erstellung eines zulässigen Prüfungs-

²⁶Zur Art der verwendeten Aspiration vgl. Hertz (1991).

²⁷Es werden nur Vertauschungen zugelassen, die zu mindestens einem Konflikt führen; vgl. Hertz (1991).

²⁸Es handelt sich um verhältnismäßig kleine Problemstellungen mit maximal 105 Prüfungen. Von Bedeutung ist, dass die Planerstellung jeweils am Morgen vor Beginn der Prüfungen eines Tages erfolgt, weshalb die Rechenzeit begrenzt ist.

planes anhand einer Austauschtaktik versucht werden, welche einem Prüfling einen Prüfer seiner Schule zuordnet. Überdies ist hierbei eine Redefinition der betroffenen Domains notwendig.

Zur Evaluierung dieses Verfahrens wird angeführt, dass es bereits mehrfach zur Planung an der betrachteten Institution verwendet worden ist. Offen bleibt aber, welche Bestandteile des Verfahrens den größten Anteil an der Erzielung der Lösungen besitzen.

Cangalovic et al. (1998): Die Autoren führen für jedes Tupel aus einer Fach-Prüfer-Kombination²⁹ und einem zugehörigen Prüfungstag einen Knoten in einem Graphen ein. Dabei ist für jeden Knoten bekannt, wieviele Prüflinge maximal geprüft werden dürfen. Eine Zuordnung der Prüfungen eines Prüflings ist für eben diesen Prüfling zulässig, sobald (i) jede seiner Prüfungen an einem anderen Prüfungstag stattfindet und (ii) zwischen seinen Prüfungen ein fester Mindestabstand eingehalten wird. Jede derartige zulässige Einplanung aller Prüfungen eines Prüflings auf Prüfungstage konstituiert eine sogenannte 'Clique', inklusive der zugehörigen Kanten, im Graphen. Unter Berücksichtigung einer begrenzten Anzahl derartiger Cliques wird jedem Prüfling eine derartige Clique zugewiesen, wobei die Summe der Überschußnachfragen an den Knoten minimiert wird.

Nach der Vorstellung einer Heuristik zur Bestimmung einer geeigneten Teilmenge aus der Menge aller relevanten Cliques beschreiben sie ein Tabu Search-Verfahren, welches als Zug den Wechsel der Clique eines Prüflings vorsieht. Mittels zweier Tabulisten wird verhindert, dass die Anzahl der Prüflinge, die nach der alten (neuen) Clique geprüft wird, innerhalb der jeweiligen Tabudauer wieder erhöht (abgesenkt) wird.³⁰

Das Verfahren wird unter anderem zur Lösung eines realen Datensatzes herangezogen.³¹ Für die Entzerrung der Prüfungen ist ausschließlich eine feste Untergrenze auf Basis von Prüfungstagen vorgesehen, welche im Zuge der Erstellung der Cliques Verwendung findet. Eine Beschränkung der Kapazitätsnachfrage zweier Knoten — ein Prüfer kann zwei Fach-Prüfer-Kombinationen wahlweise prüfen — ist nicht vorgesehen. Gleiches gilt für eine Begrenzung der für einen Prüfer tatsächlich einplanbaren Prüfungstage.

Als *Fazit* ist folgendes festzuhalten. Je nach Institution sind bei der Erstellung eines mündlichen Prüfungsplanes sehr unterschiedliche Anforderungen zu berücksichtigen. Aus diesem Grund kann *die* Problemstellung zur Planung mündlicher Prüfungen nicht identifiziert werden.

Anders als bei schriftlichen Prüfungen kommt der „Ressource“ Prüfer in diesem Fall eine große Bedeutung zu. So steht zum einen zu Beginn der Planung vielfach noch nicht fest, welcher oder welche Prüfer einen Prüfling in einem Fach zu prüfen haben, zum anderen sind der Verfügbarkeit der Prüfer — wie maximale Anzahl Prüfungen an einem Prüfungstag, maximale Anzahl einplanbarer Prüfungstage — Grenzen gesetzt. Während die Prüfer besondere Beachtung erfahren, wird der Verfügbarkeit von Räumen keine Auf-

²⁹ Auf eine Differenzierung zwischen Fach und Fach-Prüfer-Kombination wird verzichtet.

³⁰ Dies impliziert, dass die jeweiligen Prüflinge in denselben Fach-Prüfer-Kombinationen zu prüfen sind.

³¹ Die angegebene Problemstellung umfaßt 343 Prüfungstage. Aufgrund dieser hohen Zahl erscheinen weitere Angaben hinsichtlich der Knappheit beispielsweise der Prüfungstage von Interesse.

merksamkeit geschenkt. Des weiteren fällt auf, dass eine Entzerrung der Prüfungen um mehrere Tage, wie zum Beispiel bei Bullnheimer (1998) im Kontext schriftlicher Prüfungen, nicht vorgesehen wird.

Basierend auf den gemachten heterogenen Beobachtungen bietet sich hinsichtlich der Planung mündlicher Prüfungen folgendes Vorgehen an: Zuerst sind an deutschen Hochschulen die Anforderungen der Praxis zu erheben, um hieraus im nächsten Schritt eine geeignete Modellformulierung herzuleiten.

3 Praxisrelevante Anforderungen

Im folgenden wird der Stand der Praxis in bezug auf die Planung mündlicher Examensprüfungen dokumentiert. Die Resultate dazu entstammen einer diesbezüglichen Umfrage an deutschen Hochschulen.³²

Aufbau des Fragebogens. Der Fragebogen gliederte sich in die Bereiche Dimension, Verfahren und Qualität. Innerhalb des Bereichs Dimension sind insbesondere Fragen zur Größenordnung des Planungsproblems gestellt worden. Hierbei wurde die Zielsetzung verfolgt, die praktische Relevanz des Planungsproblems belegen zu können. Im Bereich Verfahren sind vorwiegend Informationen zum Ablauf der Planung erhoben worden. So wurde unter anderem nach Merkmalen der Aufgaben, die zur Erstellung eines Prüfungsplanes notwendigerweise zu erledigen sind, gefragt. Ebenfalls erhoben wurden Informationen zur Automatisierung. Der Bereich Qualität erfaßte vorrangig die Anforderungen zur Formulierung eines praxisrelevanten Ansatzes, indem die Bedeutung einzelner Merkmale von Prüfungsplänen abgefragt wurde.

Grundgesamtheit. Befragt wurden dezentrale Prüfungsämter von Hochschulen mit Universitätscharakter, denen die organisatorische Abwicklung von Prüfungen in mindestens einem wirtschaftswissenschaftlichen Studiengang³³ übertragen war. Beim Vorhandensein mehrerer solcher Prüfungsämter an einer Hochschule ist das im Hinblick auf die Anzahl der Prüflinge größte Prüfungsamt um Beantwortung des Fragebogens gebeten worden. Die schriftliche Befragung erfolgte 1997 in den Monaten Juli und August.

Rücklauf. Von den 70 angeschriebenen Prüfungsämtern ist mit 65 ein Kontakt zustande gekommen. Bezüglich elf der befragten Prüfungsämter ist bekannt, dass mündliche Prüfungen gar nicht oder nur in seltenen Fällen abgehalten werden. Weitere elf Prüfungsämter haben lediglich einige ausgewählte Fragen telefonisch beantwortet, es aber abgelehnt, den Fragebogen auszufüllen. Bei drei Prüfungsämtern waren aus unterschiedlichen Gründen keine Angaben möglich. Insgesamt 40 ausgefüllte Fragebögen sind eingegangen. Einige Fragebögen sind jedoch nicht vollständig ausgefüllt worden.

Anforderungen. Zur Formulierung eines praxisrelevanten Ansatzes zur Planung mündlicher Prüfungen an deutschen Hochschulen werden nachfolgend drei grundlegende Fragestellungen behandelt.

(1) Was ist eine Prüfung? Von substantieller Bedeutung für die Formulierung eines

³²Details hierzu sind in Juretzka (2000) zu finden.

³³Unberücksichtigt blieben Hochschulen, an denen der Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen der einzige wirtschaftswissenschaftliche Studiengang war.

Planungsansatzes ist die Frage, ob vor Beginn der Prüfungsplanung bereits feststeht, welcher Prüfer einen Prüfling in einem Fach prüft. Als Ergebnis der Umfrage ist festzustellen, dass bei 13 von 36 Prüfungsämtern vor Beginn der Planung Klarheit über die zu prüfenden Fach-Prüfer-Kombinationen besteht. An den verbleibenden 23 Prüfungsämtern hingegen bedarf es zumindest in einigen Fächern noch einer Zuordnung von Prüflingen zu Prüfern. In Anbetracht dieses Befundes ist es somit teilweise notwendig, eine modellimmanente Festlegung von Fach-Prüfer-Kombinationen vorzusehen.

(2) Was ist eine Periode? Es ist festzulegen, wie die zeitliche Zuordnung der Prüfungen erfolgen soll. Einerseits ließen sich die Prüfungen simultan Tagen und Tageszeiten zuordnen, andererseits bietet sich ein Vorgehen in zwei Phasen an. In der ersten Phase werden alle Prüfungen zunächst auf Tage zugeordnet, bevor sie in der zweiten Phase auf Tageszeiten zugewiesen werden. In der Praxis treten beide Vorgehensweisen gleich häufig auf. Da die nachträgliche Zuordnung auf Tageszeiten kaum zu Problemen führen dürfte,³⁴ wird die zeitliche Zuordnung der Prüfungen in zwei Phasen vorgenommen.

(3) Welche Restriktionen und Zielsetzungen sind zu berücksichtigen? Zur Ermittlung der Anforderungen — im Sinne von Restriktionen und Zielsetzungen — eines praxisrelevanten Ansatzes sind in der Umfrage neun mögliche Anforderungen vorgegeben worden, welche jeweils als unerlässlich, wichtig, wünschenswert oder irrelevant einzustufen waren. Tabelle 1 gibt die erhaltenen Ergebnisse wieder.

Eine eindeutige Einstufung der Anforderungen hinsichtlich ihrer Bedeutung fällt schwer. Allerdings lassen sich Häufungen feststellen. Demnach sind die Anforderungen 1 und 2 tendenziell als unerlässlich hinsichtlich der Zuordnung auf Prüfungstage einzustufen. Die Anforderungen 3, 8 und 9 werden am häufigsten als wünschenswert eingestuft. Eine zeitliche Entzerrung der Prüfungen einzelner Prüflinge auf Basis von Tagen trägt diesen Anforderungen Rechnung. Falls ein Prüfling dennoch an direkt aufeinanderfolgenden Tagen zu Prüfungen eingeplant wird, ist bei der Zuordnung auf Tageszeiten zu vermeiden, dass ein Prüfling zu Prüfungen abends und am nächsten Morgen vorgesehen wird. Anforderung 4 wird zumeist als irrelevant eingestuft. Da sie in 7 von 37 Fällen jedoch als unerlässlich angesehen wird, soll sie berücksichtigt werden. Anforderung 5 ist ähnlich wie Anforderung 4 eher als relativ unbedeutend anzusehen. Zudem geben 82% aller befragten Prüfungsämter an, dass die Raumzuordnung kein Problem darstellt. Die Zuordnung der Prüfungen zu Räumen wird als nachgelagert eingestuft und erfolgt deshalb zusammen mit der Festlegung der Tageszeiten. Anforderung 6 wird am häufigsten als wichtig bewertet; sie ist im Zuge der Zuordnung auf Tageszeiten zu beachten. Anforderung 7 wird in 32 von 38 Fällen als irrelevant eingestuft und findet keine explizite Berücksichtigung.

Bei Angabe der Anforderungen eines praxisrelevanten Ansatzes zur Planung mündlicher Prüfungen darf nicht außer acht gelassen werden, dass bisher keine Anforderungen hinsichtlich der Fach-Prüfer-Kombinationen und Prüfer angeführt worden sind. Offenkundig ist aber mit einzubeziehen, dass die Anzahl der für eine Fach-Prüfer-Kombination an einem Prüfungstag einplanbaren Prüfungen begrenzt ist. Gleiches gilt für die Prüfer. Des weiteren wird bezüglich der Fach-Prüfer-Kombinationen und Prüfer angenommen, dass die Anzahl der für sie maximal einplanbaren Prüfungstage unter Umständen geringer

³⁴Nur in Ausnahmefällen kann eine geänderte Zuordnung auf Prüfungstage erforderlich werden.

Nr.	Anforderung	unerläß- lich	wichtig	wünschens- wert	irrele- vant	N
1	Kein Prüfling hat mehr als eine Prüfung pro Tag.	27	10	2	0	39
2	Hat ein Prüfling eine Prüfung an einer anderen Fakultät, so ist diese an dem Prüfungstag die einzige.	21	2	3	12	38
3	Kein Prüfling hat Prüfungen in aufeinanderfolgenden Perioden (z.B. abends und am nächsten Morgen).	7	9	14	9	39
4	Einige Prüfungen dürfen nur in bestimmten Perioden stattfinden.	7	6	1	23	37
5	Die Beschaffenheit der Räume (Ausstattung, Nähe zum Lehrstuhl) wird bei der Zuweisung berücksichtigt.	5	7	3	24	39
6	Die Prüfungstermine jedes Prüfers müssen als Block (ohne große Pausen) geplant werden.	3	14	11	11	39
7	Prüfung A muß vor Prüfung B eingeplant werden.	3	1	2	32	38
8	Kein Prüfling hat Prüfungen an aufeinanderfolgenden Tagen.	2	12	15	10	39
9	Die Prüfungen jedes Prüflings müssen zeitlich gleichmäßig über den Prüfungszeitraum verteilt sein.	0	6	22	10	38

Tabelle 1: Anforderungen des Planungsproblems

als die Anzahl der für sie prinzipiell einplanbaren Prüfungstage ist.³⁵

Die Anforderungen eines praxisrelevanten Ansatzes zur Planung mündlicher Prüfungen auf *Tagesbasis* lassen sich somit wie folgt angeben: (a) Die Prüfungen der einzelnen Prüflinge sind möglichst „gut“ zu entzerren. (b) Kein Prüfling hat mehr als eine Prüfung je Prüfungstag. (c) Einige Prüfungen dürfen nur an bestimmten Prüfungstagen stattfinden.³⁶ (d) Für eine Fach-Prüfer-Kombination darf an einem Prüfungstag maximal eine bestimmte Anzahl Prüfungen eingeplant werden. (e) Für einen Prüfer darf an einem Prüfungstag maximal eine bestimmte Anzahl Prüfungen eingeplant werden. (f) Die Anzahl der Prüfungstage, für die eine Fach-Prüfer-Kombination eingeplant werden darf, ist begrenzt. (g) Die Anzahl der Prüfungstage, für die ein Prüfer eingeplant werden darf, ist begrenzt.

Die Anforderungen eines praxisrelevanten Ansatzes zur Zuordnung mündlicher Prüfungen

³⁵ Vgl. in diesem Zusammenhang auch Jünke (1991).

³⁶ Anstelle des Begriffs Prüfungstag wird in Anforderung 4 der Begriff Periode verwendet.

gen auf *Tageszeiten* bei gegebener Tageszuordnung sind die folgenden: (h) Kein Prüfling hat Prüfungen abends und am nächsten Morgen. (i) Die Beschaffenheit der Räume ist bei der Zuweisung zu berücksichtigen. (j) Die durch den Prüfer bereitgestellten Prüfungszeiten sind nicht zu überschreiten. (k) Die Prüfungstermine der Prüfer müssen ohne große Pausen geplant werden. Diese Zuordnung mündlicher Prüfungen auf Tageszeiten erfordert (im Vergleich zur zuvor genannten Planung mündlicher Prüfungen auf Tagesbasis) keinen nennenswerten Planungsaufwand und wird daher im Rahmen des DSS behandelt.

4 Modellformulierung

Im diesem Abschnitt wird die Planung mündlicher Prüfungen bei gegebener Fach-Prüfer-Kombination auf Tagesbasis unter Berücksichtigung der hierfür als praxisrelevant identifizierten Anforderungen behandelt. Vielfach gestaltet sich bereits das Auffinden eines zulässigen Prüfungsplans für den Planer als äußerst schwierig. Deshalb besteht die Gefahr, dass die Qualität des Prüfungsplans, gesehen aus der Sicht der Prüflinge, der Zügigkeit der Planerstellung geopfert wird. Zur Formulierung eines Modells, das diesem Umstand Rechnung trägt, indem Nebenbedingungen die Zulässigkeit des Prüfungsplans gewährleisten und die Zielfunktion die Optimierung eines gewählten Qualitätsmaßes sicherstellt, werden die nachfolgenden Annahmen eingeführt:

1. Die Prüflinge werden in der Menge I zusammengefaßt. Zur Vereinfachung sind die Prüflinge durchnummeriert; somit ergibt sich $I = \{1, \dots, |I|\}$, wobei der Index i Verwendung findet.
2. Die Fach-Prüfer-Kombinationen werden in der Menge J erfaßt. Zur Vereinfachung sind die Fach-Prüfer-Kombinationen durchnummeriert; somit ergibt sich $J = \{1, \dots, |J|\}$, wobei der Index j Verwendung findet.
3. Die Menge der Prüfungstage T beinhaltet alle Tage zwischen dem ersten und letzten Prüfungstag. Zur Vereinfachung sind die Prüfungstage durchnummeriert; somit ergibt sich $T = \{1, \dots, |T|\}$, wobei der Index t Verwendung findet.
4. Die Menge der Fach-Prüfer-Kombinationen j , in denen der Prüfling i zu prüfen ist, wird durch J_i angegeben.
5. Die Menge der Prüfungstage t , an denen Prüfungen der Fach-Prüfer-Kombination j eingeplant werden können, wird durch T_j angegeben.
6. Prüfling i darf am Prüfungstag t für maximal λ_{it} Prüfungen eingeplant werden, wobei gilt: $\lambda_{it} \in \{0, 1\}$.³⁷
7. In der Fach-Prüfer-Kombination j dürfen am Prüfungstag t maximal θ_{jt} Prüfungen eingeplant werden.

³⁷Werte von $\lambda_{it} > 1$ werden ausgeschlossen, da sie im Zuge nachgelagerter Zuordnungen in Ausnahmefällen zu nicht auflösbaren Konflikten führen können. In Anbetracht der äußerst geringen praktischen Relevanz dieses Falls ist dies jedoch unproblematisch.

8. In der Fach-Prüfer-Kombination j dürfen maximal ξ_j Prüfungstage eingeplant werden.
9. Die Prüfer werden in der Menge S zusammengefaßt. Zur Vereinfachung sind die Prüfer durchnummeriert; somit ergibt sich $S = \{1, \dots, |S|\}$, wobei der Index s Verwendung findet.
10. S_j ist die Menge der Prüfer s , die die Fach-Prüfer-Kombination j prüfen.³⁸
11. Für Prüfer s dürfen am Prüfungstag t maximal v_{st} Prüfungen eingeplant werden.
12. Für Prüfer s dürfen maximal ψ_s Prüfungstage eingeplant werden.
13. D repräsentiert die Menge der Abstände — gemessen in Prüfungstagen — zwischen zwei aufeinanderfolgenden Prüfungen. Es gilt: $D = \{1, \dots, |D|\}$, wobei der Index d verwendet wird.³⁹
14. Die ‘Kosten’ der Einplanung zweier Prüfungen eines Prüflings betragen γ_d , falls eine Prüfung einer anderen Prüfung ein und desselben Prüflings mit einem Abstand von d Prüfungstagen folgt.⁴⁰

Zur Vereinfachung der Modellformulierung lassen sich aus den obigen Prämissen folgende Mengen ableiten:

- I_j ist die Menge der Prüflinge i , die in der Fach-Prüfer-Kombination j zu prüfen sind; es gilt: $I_j = \{i \mid j \in J_i\}$.
- J_{st} ist die Menge der Fach-Prüfer-Kombinationen j , die der Prüfer s am Prüfungstag t prüfen kann; es gilt: $J_{st} = \{j \mid s \in S_j \wedge t \in T_j\}$.
- J_s ist die Menge der Fach-Prüfer-Kombinationen j , die der Prüfer s prüft; es gilt: $J_s = \{j \mid s \in S_j\}$.
- T_s ist die Menge der Prüfungstage t , an denen der Prüfer s in mindestens einer seiner Fach-Prüfer-Kombinationen zur Abnahme von Prüfungen zur Verfügung steht; es gilt: $T_s = \bigcup_{j \in J_s} T_j$.

Unter Verwendung von Binärvariablen x_{ijt} mit der Bedeutung $x_{ijt} = 1$, falls Prüfling i in der Fach-Prüfer-Kombination j am Prüfungstag t geprüft wird (0, sonst), läßt sich folgendes Modell zur Planung mündlicher Prüfungen bei gegebener Fach-Prüfer-Kombination formulieren:

³⁸In der Praxis gilt zumeist $|S_j| = 1$.

³⁹Falls ein Prüfling z. B. am Montag und Mittwoch geprüft wird, liegt ein Abstand von $d = 2$ Prüfungstagen vor.

⁴⁰Der Begriff Kosten wird nicht im betriebswirtschaftlichen Sinne von ‘betrieblichem Werteverzehr’, sondern im Sinne von Strafkosten, welche eine ‘Nutzenminderung’ anzeigen, verstanden.

Minimiere

$$Z(x) = \sum_{\substack{i \in I \\ |J_i| > 1}} \left[\sum_{d \in D} \gamma_d \left(\sum_{j \in J_i} \sum_{\substack{t \in T_j \\ t \leq |T| - d}} x_{ijt} \left(\sum_{j' \in J_i \setminus j} \sum_{\substack{t' = t + d \\ t' \in T_{j'}}} x_{ij't'} \right) \right) \right] \quad (1)$$

unter den Nebenbedingungen

$$\sum_{t \in T_j} x_{ijt} = 1 \quad i \in I; j \in J_i \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{j \in J_i \\ t \in T_j}} x_{ijt} \leq \lambda_{it} \quad i \in I; t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I_j} x_{ijt} \leq \theta_{jt} \quad j \in J; t \in T_j \quad (4)$$

$$\sum_{t \in T_j} \max \left\{ \bigcup_{i \in I_j} \{x_{ijt}\} \right\} \leq \xi_j \quad j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J_{st}} \sum_{i \in I_j} x_{ijt} \leq v_{st} \quad s \in S; t \in T_s \quad (6)$$

$$\sum_{t \in T_s} \max \left\{ \bigcup_{j \in J_{st}} \bigcup_{i \in I_j} \{x_{ijt}\} \right\} \leq \psi_s \quad s \in S \quad (7)$$

$$x_{ijt} \in \{0, 1\} \quad i \in I; j \in J_i; t \in T_j \quad (8)$$

Die Zielfunktion (1) minimiert die Summe der Kosten über alle Prüflinge, welche durch die Abstände, gemessen in Prüfungstagen, zwischen den Prüfungen der Prüflinge bestimmt werden. Hierbei stellt x in $Z(x)$ den Vektor der Binärvariablen dar. (2) stellt sicher, dass jeder Prüfling $i \in I$ in jeder seiner Fach-Prüfer-Kombinationen $j \in J_i$ an einem Prüfungstag t geprüft wird. (3) gewährleistet, dass ein Prüfling i an einem Prüfungstag t für nicht mehr als λ_{it} Prüfungen eingeplant werden kann. (4) garantiert, dass in der Fach-Prüfer-Kombination j an einem Prüfungstag t maximal θ_{jt} Prüfungen eingeplant werden. (5) sorgt dafür, dass in der Fach-Prüfer-Kombination j an nicht mehr als ξ_j Prüfungstagen geprüft wird. (6) stellt sicher, dass ein Prüfer s am Prüfungstag t für maximal v_{st} Prüfungen eingeplant werden kann. Durch (7) wird für jeden Prüfer s sichergestellt, dass

er an nicht mehr als ψ_s Prüfungstagen zu prüfen hat. Gemäß (8) werden Binärvariablen für jeden Prüfling $i \in I$ in jeder seiner Fach-Prüfer-Kombination $j \in J_i$ für alle zugehörigen Prüfungstage $t \in T_j$ eingeführt.⁴¹

Lexikographische Ordnung. Werden die Kosten γ_d und damit die Quotienten γ_d/γ_{d+1} derart gewählt, dass immer vorrangig die Anzahl von Prüfungen mit einem Abstand von d Prüfungstagen vor der Anzahl von Prüfungen mit einem Abstand von $d + 1$ Prüfungstagen zu minimieren ist, so ergibt sich faktisch eine lexikographische Ordnung von Zielen.⁴² Formal läßt sich dieser Sachverhalt wie folgt beschreiben:

Minimiere die Ziele

$$Z_1(x) = \sum_{\substack{i \in I \\ |J_i| > 1}} \left[\sum_{j \in J_i} \sum_{\substack{t \in T_j \\ t \leq |T|-1}} x_{ijt} \left(\sum_{j' \in J_i \setminus j} \sum_{\substack{t' = t+1 \\ t' \in T_{j'}}} x_{ij't'} \right) \right] \quad (9)$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad (10)$$

$$Z_d(x) = \sum_{\substack{i \in I \\ |J_i| > 1}} \left[\sum_{j \in J_i} \sum_{\substack{t \in T_j \\ t \leq |T|-d}} x_{ijt} \left(\sum_{j' \in J_i \setminus j} \sum_{\substack{t' = t+d \\ t' \in T_{j'}}} x_{ij't'} \right) \right] \Big|_{x \in X_{d-1}} \quad (11)$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots \quad (12)$$

$$Z_{|D|}(x) = \sum_{\substack{i \in I \\ |J_i| > 1}} \left[\sum_{j \in J_i} \sum_{\substack{t \in T_j \\ t \leq |T|-|D|}} x_{ijt} \left(\sum_{j' \in J_i \setminus j} \sum_{\substack{t' = t+|D| \\ t' \in T_{j'}}} x_{ij't'} \right) \right] \Big|_{x \in X_{|D|-1}} \quad (13)$$

X_d : Menge der Lösungen x , die bezüglich $Z_d(x)$ minimal sind

In diesem Spezialfall lassen sich mittels des Zielfunktionswertes aus (1) nur Aussagen auf ordinalem Skalenniveau treffen. Denn die Differenz zweier Zielfunktionswerte hängt von der Wahl der γ_d ab, und diese sind zumindest in gewissem Umfang frei wählbar. Somit erlauben die Kosten der Prüfungspläne lediglich die Bestimmung einer Rangordnung bezüglich alternativer Prüfungspläne.

Die vorgestellte Modellformulierung bildet alle in Abschnitt 3 als wesentlich identifizierten Anforderungen an Prüfungspläne ab. Hervorzuheben ist hierbei insbesondere die Zielsetzung, die zu einer zeitlichen Entzerrung der Prüfungen aus Sicht der Prüflinge führt.

Zur Lösung des Problems wurden vier speziell an die Problemstellung angepaßte Lösungsverfahren entwickelt. Dazu gehören ein randomisiertes Prioritätsregelverfahren, zwei Ameisen-Systeme sowie ein Tabu Search-Verfahren.⁴³ Jedes der Verfahren wurde zunächst

⁴¹Durch Komplexitätstheoretische Überlegungen kann gezeigt werden, dass bereits das Auffinden einer zulässigen Lösung für einen Spezialfall des obigen Modells als \mathcal{NP} -vollständig einzustufen ist; vgl. Juretzka (2000).

⁴²In Abschnitt 1 wird geschildert, wieso eine derartige Zielsetzung rechtlich geboten erscheint.

⁴³Details hierzu finden sich in Juretzka (2000).

umfangreichen numerischen Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses seiner Kontrollparameter unterzogen. Insbesondere für die Ameisen-Systeme erwies sich die Wahl geeigneter Kontrollparameter als ausgesprochen unproblematisch. Hinsichtlich des Tabu Search-Verfahrens wurde deutlich, dass angesichts der Größe der zu behandelnden Datensätze in der Praxis die Verwendung einer Kandidatenliste von fundamentaler Bedeutung ist. Im Rahmen einer vergleichenden experimentellen Evaluierung erwiesen sich die Konstruktionsverfahren als eindeutig unterlegen. Die lokalen Ameisen-Systeme stellten sich zweifelsohne als die insgesamt besten Verfahren heraus. Bei knapper Verfügbarkeit von Prüfungsterminen erzielten jedoch die Tabu Search-Verfahren bessere Resultate. Bei Anwendung der Verfahren auf Praxisdatensätze — mit relativ großzügig bemessener Verfügbarkeit von Prüfungsterminen — dominierten die lokalen Ameisen-Systeme. Vor allem die numerischen Resultate bezüglich der Untersuchung ausgewählter Praxisdatensätze sind als äußerst erfolgreich einzustufen.

5 Decision Support System

Ein Decision Support System umfaßt die Komponenten Daten, Dialog und Modell, weshalb in diesem Kontext auch von DDM-Paradigma gesprochen wird.⁴⁴ Die Komponente 'Daten' sollte derart gestaltet sein, dass die benötigten Informationen adäquat bereitgehalten werden. Durch die Komponente 'Dialog' ist sicherzustellen, dass die Interaktion des Anwenders mit dem Decision Support System und damit auch der Zugriff auf die betreffenden Daten einfach und leicht verständlich gestaltet ist. Die Komponente 'Modell' sollte der Aufgabenstellung angemessene Modellierungs- und Analysemöglichkeiten zur Verfügung stellen. Ein Decision Support System, welches dem DDM-Paradigma Rechnung trägt, fügt die beschriebenen Komponenten geeignet zusammen.

Im vorliegenden Abschnitt wird die Konzeption und Realisierung eines Decision Support Systems zur Planung mündlicher Prüfungen am Diplom-Prüfungsamt der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel skizziert. Dabei werden, wie in Abschnitt 1 bereits angedeutet, sowohl der direkte Planungsprozeß als auch das Umfeld der Prüfungsplanung berücksichtigt. Der direkte Planungsprozeß kennzeichnet die eigentliche Erstellung des Prüfungsplanes, also die zeitliche Einplanung der Prüfungen. Das Umfeld der Prüfungsplanung umfaßt die vor- und nachbereitenden Aktivitäten⁴⁵ und ist bisher nur am Rande betrachtet worden.⁴⁶ In den folgenden Abschnitten werden die Phasen Planung, Definition, Entwurf, Implementierung sowie Abnahme und Einführung nacheinander betrachtet.⁴⁷ In den Phasen sind die Aktivitäten der Software-Entwicklung nach zeitlichen, technischen und organisatorischen

⁴⁴Vgl. hierzu Sprague und Watson (1989).

⁴⁵Hierzu gehört beispielsweise die Bearbeitung der Anmeldungen.

⁴⁶Die in diesem Kapitel skizzierte Software-Entwicklung — inklusive der Abbildungen zur Strukturierter Analyse und zum Strukturierten Design — ist in Böhler (1999) ausführlich dokumentiert.

⁴⁷Diese Phaseneinteilung lehnt sich an Balzert (1996) an, wobei auf die Betrachtung der Phase Wartung und Pflege verzichtet wird. Dieser Phase obliegt die Behebung von im laufenden Betrieb auftretenden Fehlern, die Anpassung an geänderte Umweltbedingungen sowie die Umsetzung neuer Wünsche und Anforderungen.

Kriterien zusammengefaßt. Der eigentliche zeitliche Ablauf der Phasen wird jedoch durch sogenannte Vorgehensmodelle bestimmt.⁴⁸ Im vorliegenden Fall werden die Phasen Planung und Definition gemäß dem Wasserfall-Modell⁴⁹ — das Resultat einer Phase liefert die Basis der nächsten Phase — sequentiell abgearbeitet. Aus der daraufhin vorliegenden Produktdefinition werden wesentliche Anforderungen zur Umsetzung in ein Pilotsystem ausgewählt.⁵⁰ Zur Realisierung des Pilotsystems werden die Phasen Entwurf und Implementierung bezüglich dieser Teilmenge der Anforderungen durchlaufen. Die Erprobung des Pilotsystems durch den späteren Anwender trägt zum einen zu einer weiteren Präzisierung der Anforderungen und zum anderen zu einer gesteigerten Akzeptanz seitens der Anwender bei. Die präzisierten Anforderungen finden im weiteren Verlauf der Phasen Entwurf und Implementierung Berücksichtigung. Die Phase Abnahme und Einführung trifft durch den Einsatz des Pilotsystems gegebenenfalls auf eine gesteigerte Akzeptanz seitens der Anwender.

5.1 Planung

Im folgenden wird zunächst die Ist-Analyse des Ablaufs der mündlichen Prüfungsplanung am Prüfungsamt der WiSo-Fakultät dargestellt. Im Anschluß daran werden die Hauptleistungsmerkmale und wesentlichen Anforderungen des zu konzipierenden Decision Support Systems abgeleitet.

Ist-Analyse. Am Prüfungsamt der WiSo-Fakultät betrachtet sie die Aspekte Dimension, Verfahren und Schwachstellen.

Dimension. Am Prüfungsamt der WiSo-Fakultät sind jedes Semester ca. 200 Prüflinge mit zumeist zwei oder drei Prüfungen zu bearbeiten. Die ca. 500 Prüfungen werden von ungefähr 30 Prüfern innerhalb eines Zeitraums von vier bis fünf Wochen abgenommen. Die Mehrzahl der Prüfungen wird von einem Prüfer zusammen mit einem Beisitzer geprüft; in einigen Fächern sind zwei Prüfer vorzusehen. Das Prüfungsamt ist bestrebt, die Prüfungen eines Prüfers in einem Fach zu Prüfungsblöcken, bestehend aus zwei oder drei Prüflingen, zusammenzufassen. Vorrangig sind Prüfungsblöcke mit drei Prüflingen zu bilden. Der direkte Planungsprozeß beansprucht ca. eine Woche. Die Berücksichtigung nachträglicher Änderungen erhöht den Planungsaufwand jedoch bisweilen erheblich.

Verfahren. Zur Erstellung eines mündlichen Prüfungsplanes am Prüfungsamt der WiSo-Fakultät werden die angegebenen Aktivitäten in der folgenden Reihenfolge bearbeitet: (1) Anmeldungen der Prüflinge bearbeiten, (2) Eingabe der Prüfungsdaten in den PC, (3) Erstellen der Teilnehmerlisten, (4) Zuordnung der Prüfer zu den Prüflingen, (5) Erfassen der Terminwünsche der Prüfer, (6) Zuordnung der Prüflinge zu den Prüfungstagen, (7) Zuordnung der Prüflinge zu den Prüfungszeiten und Festlegen der Termine der Prüfer, (8) Bekanntgabe des vorläufigen Planes bei den Prüfern, (9) Zuordnung der Räume, (10)

⁴⁸ Letztere können beispielsweise das wiederholte Durchlaufen einzelner Phasen vorsehen.

⁴⁹ Einen Überblick zur Evolution des Wasserfall-Modells liefert Chroust (1992).

⁵⁰ Im Gegensatz zu den sonst üblichen Prototypen wird ein Pilotsystem nicht „weggeworfen“, sondern Bestandteil des zu erstellenden Systems. Conger (1994) bezeichnet einen derartigen Prototypen als „partial system prototype“, während Raasch (1993) von evolutionärem Prototyping spricht.

Einteilen der Beisitzer, und (11) Bekanntgabe des endgültigen Planes.

Die Aktivitäten 1–3 dienen neben der mündlichen auch der schriftlichen Prüfungsplanung. Aktivität 4 erfolgt vor der Erfassung der Terminwünsche der Prüfer, um so den Prüflingen Gelegenheit zu einer angemessenen, prüferspezifischen Prüfungsvorbereitung zu gewähren. Somit ist eine modellimmanente Festlegung der Fach–Prüfer–Kombinationen, welche einer frühzeitigen Angabe verbindlicher Termine von seiten der Prüfer bedürfte, nicht vorzusehen. Aktivitäten 6 und 7 repräsentieren den Kern des direkten Planungsprozesses. Aktivitäten 9 und 10 sind für den direkten Planungsprozeß von sekundärer Bedeutung, da sie keinesfalls zu einer Umplanung der Prüfungen führen.

Schwachstellen. Die Prüfungsplanung am Prüfungsamt der WiSo–Fakultät offenbart zwei Schwachstellen. Zum einen ist die DV–technische Verarbeitung der Daten lückenhaft. So werden die Anmeldedaten der Prüflinge in eine Datenbank eingegeben, welche fast ausschließlich zur Ermittlung der Teilnehmerlisten dient und keine Erfassung aller hierfür wesentlichen Prüflingsdaten gestattet. Zum anderen ist insbesondere die Dauer des direkten Planungsprozesses als Schwachstelle anzusehen. Sowohl die Knappheit der seitens der Prüfer zur Verfügung gestellten Prüfungstermine als auch nachträgliche Änderungswünsche verlängern die Dauer des direkten Planungsprozesses.

Anforderungen. Hier werden auf Basis der Ist–Analyse die Hauptleistungsmerkmale und die daraus resultierenden wesentlichen Anforderungen identifiziert. Eine Systematisierung der Anforderungen erfolgt erst in einer späteren Phase der Software–Entwicklung.

Angesichts der zuvor identifizierten Schwachstellen besteht das Hauptleistungsmerkmal in einer Automatisierung des direkten Planungsprozesses. Zentrale Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang dem Resultat der automatisierten Prüfungsplanung, dem Prüfungsplan, zu. Die Relevanz einer Reihe vorgegebener Anforderungen an einen Prüfungsplan stellt sich für das Prüfungsamt der WiSo–Fakultät entsprechend Tabelle 2 dar.

Darüber hinaus sollten am Prüfungsamt der WiSo–Fakultät die folgenden, durch die oben skizzierte Umfrage nicht erfragten Anforderungen beachtet werden: (a) Auf Antrag eines Prüflings ist eine Prüfung in nicht–öffentlicher Sitzung abzuhalten. Nicht–öffentliche Prüfungen einer Fach–Prüfer–Kombination werden mit zugehörigen anderen nicht–öffentlichen Prüfungen zu Prüfungsblöcken von zwei oder drei Prüflingen zusammengefaßt. (b) Zweite Wiederholungsprüfungen werden als Einzelprüfungen geplant, sie werden also nicht mit anderen Prüfungen zu einem Prüfungsblock zusammengefaßt.

Auf eine Durchführbarkeitsuntersuchung, welche für umfangreiche Software–Projekte unabdinglich ist, wurde verzichtet. Die Realisierbarkeit eines Decision Support Systems zur mündlichen Prüfungsplanung kann aufgrund der Existenz derartiger Software–Produkte für ähnliche Anwendungsgebiete unterstellt werden.

5.2 Definition

Die Phase Definition liefert eine Produktdefinition, welche den erforderlichen Leistungsumfang des Decision Support Systems angibt. Dazu erfolgt zunächst eine Systematisierung der Anforderungen. Daraufhin wird der Ablauf der Prüfungsplanung mittels Strukturierter Analyse in eine Anzahl hierarchisch geordneter Prozesse unterteilt. Anschließend

Nr.	Anforderung	unerläß- lich	wichtig	wünschens- wert	irrele- vant
1	Kein Prüfling hat mehr als eine Prüfung pro Tag.	×			
2	Hat ein Prüfling eine Prüfung an einer anderen Fakultät, so ist diese an dem Prüfungstag die einzige.	×			
3	Kein Prüfling hat Prüfungen in aufeinanderfolgenden Perioden (z.B. abends und am nächsten Morgen).		×		
4	Einige Prüfungen dürfen nur in bestimmten Perioden stattfinden.				×
5	Die Beschaffenheit der Räume (Ausstattung, Nähe zum Lehrstuhl) wird bei der Zuweisung berücksichtigt.				×
6	Die Prüfungstermine jedes Prüfers müssen als Block (ohne große Pausen) geplant werden.		×		
7	Prüfung A muß vor Prüfung B eingeplant werden.				×
8	Kein Prüfling hat Prüfungen an aufeinanderfolgenden Tagen.		×		
9	Die Prüfungen jedes Prüflings müssen zeitlich gleichmäßig über den Prüfungszeitraum verteilt sein.		×		

Tabelle 2: Anforderungen am Prüfungsamt der WiSo-Fakultät

werden die permanent benötigten Daten in einem Entity-Relationship-Modell dargestellt.

Systematisierung der Anforderungen. Dieser Abschnitt beschränkt sich auf eine Systematisierung der Anforderungen, welche die eigentliche Leistung der zu realisierenden Software kennzeichnen.⁵¹ Die Systematisierung der Anforderungen erfolgt sowohl für den direkten Planungsprozeß als auch für das Umfeld der Prüfungsplanung.

Anforderungen des direkten Planungsprozesses. Angesichts der Anforderungen lassen sich die folgenden Anforderungen an die mündliche Prüfungsplanung auf *Tagesbasis* am Prüfungsamt der WiSo-Fakultät formulieren: (1) Die Prüfungen der einzelnen Prüflinge sind möglichst „gut“ zu entzerren. D. h., dass mit erster Priorität Prüfungen an direkt aufeinanderfolgenden Prüfungstagen zu vermeiden sind. Mit zweiter Priorität sind Fälle mit einem prüfungsfreien Tag zwischen zwei Prüfungen zu vermeiden, usw. (2) Kein

⁵¹ Pagel und Six (1994) nennen vier weitere Klassen von Anforderungen, wie z. B. technische Anforderungen sowie Validitäts- und Wartungsanforderungen.

Prüfling hat mehr als eine Prüfung je Prüfungstag. (3) Einige Prüfungen dürfen nur an bestimmten Prüfungstagen stattfinden. (4) Für eine Fach-Prüfer-Kombination darf an einem Prüfungstag maximal eine bestimmte Anzahl Prüfungen eingeplant werden. (5) Für einen Prüfer darf an einem Prüfungstag maximal eine bestimmte Anzahl Prüfungen eingeplant werden. (6) Die Anzahl der Prüfungstage, für die eine Fach-Prüfer-Kombination eingeplant werden darf, ist begrenzt. (7) Die Anzahl der Prüfungstage, für die ein Prüfer eingeplant werden darf, ist begrenzt. (8) Sobald in einer Fach-Prüfer-Kombination mehr als eine nicht-öffentliche Prüfung abzunehmen ist, darf keine dieser Prüfungen auf einen Prüfungstag zugeordnet werden, für den keine andere derartige Prüfung vorgesehen ist.⁵²

Die Anforderungen (1)–(7) entsprechen den anhand der Umfrage identifizierten Anforderungen. Lediglich Anforderung (8) repräsentiert eine spezifische Anforderung des Prüfungsamtes der WiSo-Fakultät. Ihre Integration in den Planungsansatz ist zwar von seiten der Anwender keinesfalls als zwingend erforderlich angesehen worden, da eine nachträgliche Einarbeitung dieser Anforderung in der Praxis als unproblematisch eingestuft wird, findet aber dennoch Eingang in den Planungsansatz.

Die Anforderungen an die mündliche Prüfungsplanung hinsichtlich der nachgelagerten Zuordnung auf *Tageszeiten* lassen sich wie folgt angeben: (9) Kein Prüfling hat Prüfungen abends und am nächsten Morgen. (10) Die durch den Prüfer bereitgestellten Prüfungszeiten sind nicht zu überschreiten. (11) Die Prüfungstermine der Prüfer müssen ohne „große“ Pausen geplant werden. (12) Die Prüfungen einer Fach-Prüfer-Kombination werden vorrangig zu Prüfungsblöcken von drei und nachrangig zu Prüfungsblöcken von zwei Prüflingen zusammengefaßt. Gleiches gilt für nicht-öffentliche Prüfungen einer Fach-Prüfer-Kombination.⁵³ (13) Zweite Wiederholungsprüfungen werden als Einzelprüfungen geplant.

Die beiden letztgenannten Anforderungen gehen über die der Umfrage entnommenen Anforderungen hinaus. Festzuhalten ist, dass der Zuordnung der Prüfungen auf Tageszeiten von seiten des Prüfungsamtes der WiSo-Fakultät nur eine untergeordnete Bedeutung beigemessen wird. Deshalb wird die Zuordnung auf Tageszeiten im weiteren Verlauf der Arbeit nur am Rande betrachtet.⁵⁴

Anforderungen an das Umfeld der Prüfungsplanung. Die Anforderungen an das Umfeld der Prüfungsplanung betreffen die folgenden Gesichtspunkte und werden hier nicht näher kommentiert: (a) Reduzierung des Zeitaufwands, (b) Einarbeitung von Änderungswünschen seitens der Prüfer, (c) Verwaltung aller relevanten Daten, (d) Bereitstellung benötigter Auswertungen, und (e) Software zur Unterstützung weiterer Aufgaben des Prüfungsamtes der WiSo-Fakultät.

Strukturierte Analyse. Die Strukturierte Analyse zerlegt den Ablauf der Prüfungsplanung sukzessive in immer kleinere Prozesse und trägt dabei zu einer Präzisierung der Anforderungen bei.⁵⁵ Nachfolgend soll dieses Vorgehen exemplarisch verdeutlicht werden.

⁵²Dies gestattet die Bildung von aus nicht-öffentlichen Prüfungen bestehenden Prüfungsblöcken.

⁵³Eine Ausnahme liegt vor, wenn in einer Fach-Prüfer-Kombination nur eine nicht-öffentliche Prüfung einzuplanen ist.

⁵⁴Zu einer ausführlichen Darstellung vgl. Böhler (1999).

⁵⁵Zur Strukturierten Analyse, die den Stand der Technik und den Industriestandard darstellt,

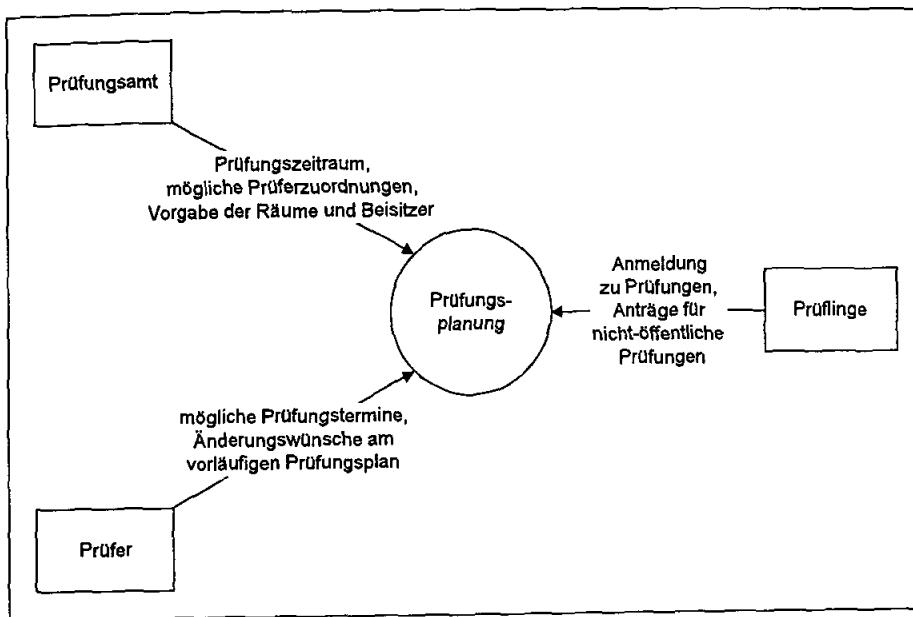


Abbildung 1: Kontextdiagramm — eingehende Datenflüsse

Begonnen wird mit der Erstellung eines Kontextdiagramms. Im vorliegenden Fall setzt das Kontextdiagramm den Prozeß Prüfungsplanung — bestehend aus dem direkten Planungsprozeß und dem Umfeld der Prüfungsplanung — anhand von Datenflüssen in Beziehung zu den Schnittstellen⁵⁶ Prüfungsamt, Prüflinge und Prüfer. Mit Hilfe eines Kontextdiagramms ist frühzeitig Klarheit über den gewünschten Umfang des Software-Produktes zu erzielen, um eine zielgerichtete Software-Entwicklung zu gewährleisten. Der Übersichtlichkeit wegen werden die ein- und ausgehenden Datenflüsse in getrennten Kontextdiagrammen erfaßt. Abbildung 1 stellt den Prozeß der Prüfungsplanung beispielhaft im Kontext der eingehenden Datenflüsse dar. Dabei repräsentiert ein Kreis einen Prozeß, ein Rechteck eine Schnittstelle und ein Pfeil einen Datenfluß. Zu ersehen ist beispielsweise, dass bei Anmeldung der Prüflinge ein Datenfluß von den Prüflingen zum Prozeß Prüfungsplanung entsteht.

Im Anschluß an die Festlegung des Kontexts, in dem sich der Prozeß Prüfungsplanung und damit das Decision Support System befindet, erfolgt die Prozeßspezifikation. Im Zuge der Prozeßspezifikation erfolgt eine Zuordnung der Aktivitäten der Prüfungsplanung zu den angegebenen Prozessen unter besonderer Berücksichtigung der ermittelten Anforderungen und Schwachstellen.⁵⁷ In Abbildung 2 findet sich dazu das Datenflußdiagramm der Ebene 1, welches eine erste, prinzipielle Zerlegung des Prozesses Prüfungsplanung und somit der zu realisierenden Planungssoftware angibt. Vorgesehen werden die vier Prozesse

vgl. z. B. Balzert (1996).

⁵⁶Schnittstellen zur Umwelt sind dadurch gekennzeichnet, dass sie durch einen Datenfluß mit dem Software-System verbunden sind, vgl. z. B. Balzert (1996).

⁵⁷Zur ausführlichen Prozeßspezifikation vgl. Böhler (1999).

(1) Erfassung und Verwaltung der Daten, (2) Aufbereitung der Daten, (3) Erstellung des Prüfungsplans und (4) Auswertung. Zwischen den Prozessen finden sich Datenspeicher, welche durch zwei parallele Linien, zwischen denen der Name des Datenspeichers steht, gekennzeichnet sind. Mit fortschreitender Zerlegung der Prozesse geht eine zunehmende Detaillierung der Datenspeicher einher.

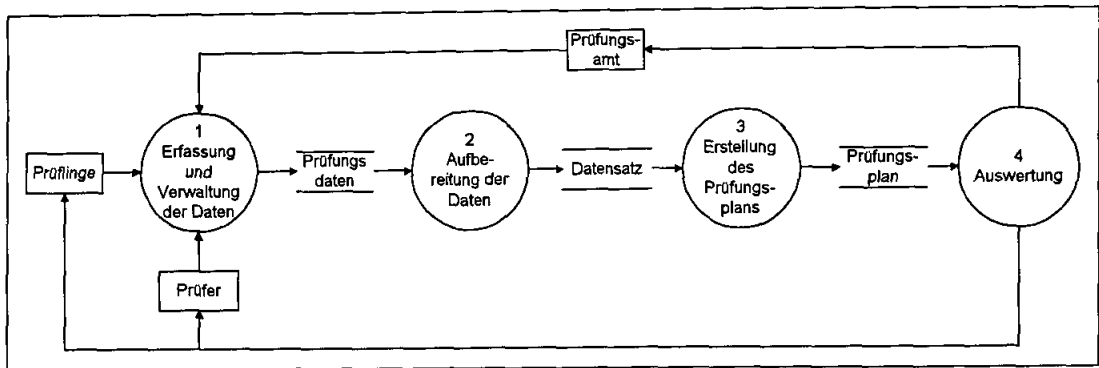


Abbildung 2: Datenflußdiagramm — Ebene 1

Das Datenflußdiagramm der Ebene 2 findet sich in Abbildung 3. Für den Prozeß 'Erfassung und Verwaltung der Daten' ist zu erkennen, dass er in zwei Prozesse aufgeteilt worden ist. Es wird eine getrennte Behandlung von Stamm- und Prüfungsdaten vorgesehen. Erstere sind Datenänderungen eher selten und in geringem Umfang unterworfen, während letztere jedes Semester aufwendig neu zu erfassen sind. Die Notwendigkeit einer späteren Konkretisierung der Datenspeicher ist offensichtlich. Für den Prozeß (3) Erstellung des Prüfungsplans erfolgt eine Zerlegung in zwei untergeordnete Prozesse. Dabei ist zu ersehen, dass beispielsweise die Zuordnung der Prüfungen auf Tage innerhalb des Prozesses (3.1) Prüfungsplanung auf Tagesbasis erfolgt. Dieser Prozeß ist durch einen ein- und einen ausgehenden Datenfluß gekennzeichnet. Der Prozeß (3.2) Prüfungsplanung im Detail beinhaltet neben der Zuordnung der Prüfungen auf Tageszeiten auch die Festlegung der Beisitzer und Räume.

Ebene 3 der Prozeßspezifikation differenziert zwischen 34 Prozessen sowie den dazugehörigen Datenspeichern, wodurch eine Darstellung in getrennten Datenflußdiagrammen erforderlich wird. Da die gewählte Vorgehensweise allerdings bereits deutlich geworden ist, wird auf eine weitere Beschreibung der Prozeßspezifikation verzichtet.

Entity Relationship–Modell. Die Zielsetzung eines Entity Relationship–Modells besteht darin, „die permanent gespeicherten Daten und ihre Beziehungen untereinander zu beschreiben.“⁵⁸ Vorteilhaft an einem derartigen, konzeptionellen Modell ist, dass es gegenüber Änderungen der Funktionalität relativ stabil ist.⁵⁹

⁵⁸Balzert (1996).

⁵⁹Zu den Grundbegriffen von Entity Relationship–Modellen vgl. z. B. Elmasri und Navathe (1994) oder Balzert (1996).

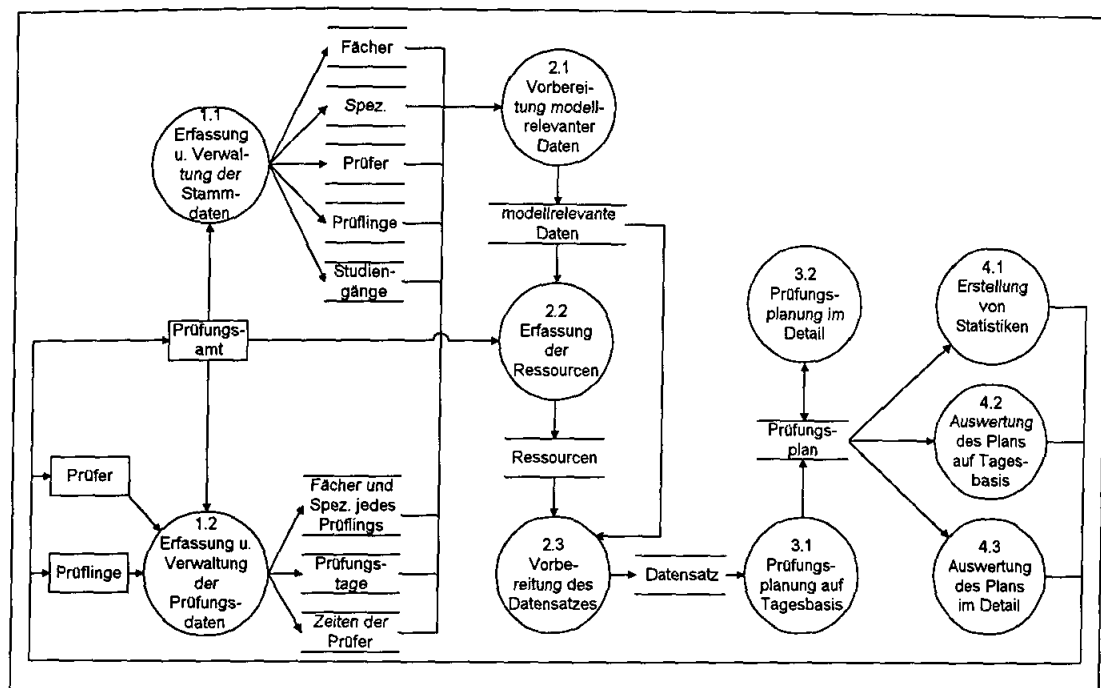


Abbildung 3: Datenflußdiagramm — Ebene 2

Abbildung 4 gibt das der Software-Entwicklung zugrunde liegende Entity Relationship-Modell an. Dabei stellt ein Rechteck einen Entitätstyp und ein Sechseck einen Beziehungstyp dar. Für die Entitätstypen 'Fach' und 'Fach-Prüfer-Kombination' ist beispielsweise zu ersehen, dass für sie der Beziehungstyp 'ist zugeordnet zu' eine sogenannte 1:N Beziehung angibt. Demnach können einem Fach mehrere (N) Fach-Prüfer-Kombinationen zugeordnet sein, während eine Fach-Prüfer-Kombination immer zu genau einem Fach gehört. Anhand des Beziehungstyps 'prüft' ist abzulesen, dass einem Fach prinzipiell mehrere (N) Prüfer zugehörig sein können und dass ein Prüfer mehrere (M) Fächer prüfen kann.⁶⁰ Man spricht von einer M:N Beziehung.

5.3 Entwurf

Während in der Phase Definition eine Produktdefinition erarbeitet wurde, die sich durch ihren konzeptionellen Charakter auszeichnet, geht es in der Phase Entwurf um die Umsetzung dieser Produktdefinition in einen Software-technischen Entwurf. Die Details dieser Umsetzung werden nachfolgend skizziert. Dazu wird die Überführung des Entity Relationship-Modells in ein relationales Datenmodell anhand eines Beispiels veranschaulicht. Im Rahmen des Strukturierten Designs werden die Prozesse der Strukturierten Analyse zum relationalen Datenmodell in Beziehung gesetzt. Daraufhin wird der Einsatz des

⁶⁰ Am Prüfungsamt der WiSo-Fakultät muß nicht berücksichtigt werden, dass ein Prüfling gegebenenfalls für mehrere Studiengänge immatrikuliert ist.

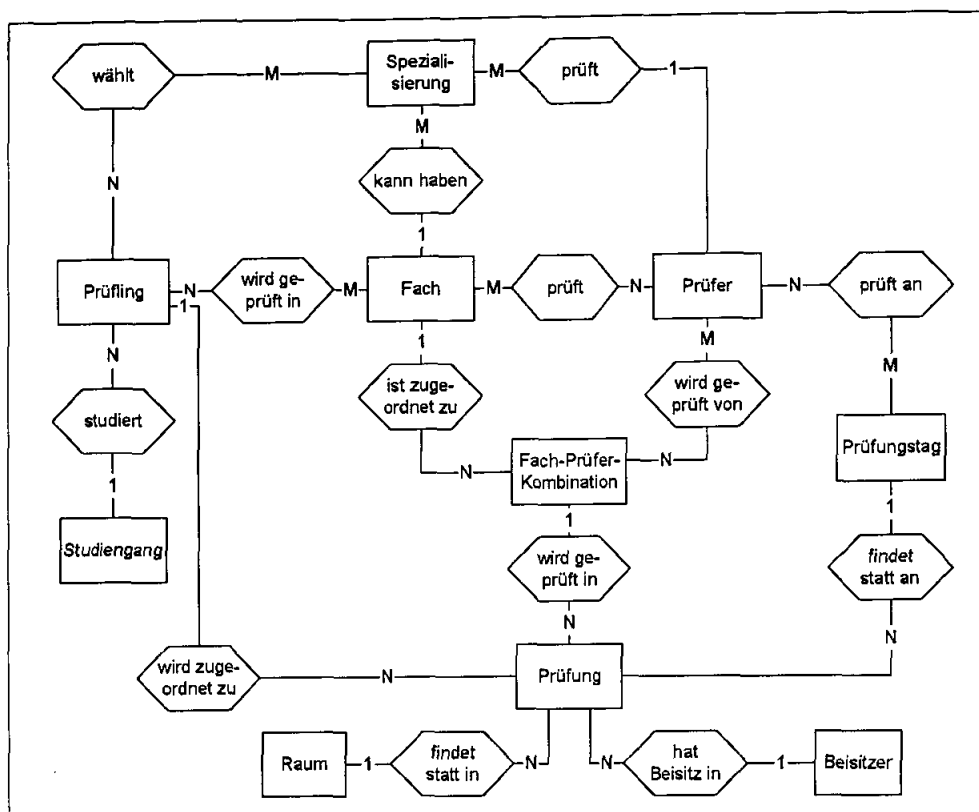


Abbildung 4: Entity Relationship-Modell

Pilotsystems beschrieben, bevor das Konzept zur revidierenden Planung skizziert wird.

Relationales Datenmodell. Die Zielsetzung des Entwurfs eines relationalen Datenmodells besteht in der Erstellung von Relationen, welche direkt als Tabellen implementierbar sind. Zur Umwandlung eines Entity Relationship-Modells in Relationen sind geeignete Transformationsregeln heranzuziehen.⁶¹

Beispielhaft sei hier die Beziehung $\langle \text{Prüfer} - \text{prüft} - \text{Fach} \rangle$ aus Abbildung 4 herangezogen. Eine derartige M:N Beziehung ist gemäß den Transformationsregeln in eine eigenständige Relation zu überführen. Dabei gehen die sogenannten Schlüsselattribute — ein (Primär-)Schlüssel erlaubt die eindeutige Identifikation eines Tupels in einer Relation — der beteiligten Entitätstypen 'Prüfer' und 'Fach' als Attribute in die neue Relation ein und bilden gemeinsam deren Schlüssel. Gegebenenfalls vorhandene, beschreibende Attribute der Beziehung werden in die Relation aufgenommen. Somit entsteht aus der Beziehung $\langle \text{Prüfer} - \text{prüft} - \text{Fach} \rangle$ die Relation 'Fächer je Prüfer' mit den Attributen 'Fach Kennzeichen' und 'Prüfer Kennzeichen'.⁶² Die Implementierungsorientierung des

⁶¹ Vgl. z. B. Balzert (1996).

⁶² Anstelle beispielsweise der Namen der Prüfer wird hier das Attribut 'Prüfer Kennzeichen' verwendet, welches innerhalb der Relation 'Prüfer' das Schlüsselattribut und somit für die Relation 'Fächer je Prüfer'

Datenbankentwurfs zeigt sich auch darin, dass für die betrachteten Attribute sowohl der Datentyp⁶³ als auch die Feldgröße festzulegen sind.

Strukturiertes Design. Die Zielsetzung des Strukturierten Designs besteht in der Überführung der aus der Strukturierten Analyse stammenden Prozesse in Systemkomponenten, wobei der Bezug zum relationalen Datenmodell herzustellen ist.

Software-Architektur. Im Kontext der Software-Architektur⁶⁴ werden die Systemkomponenten, oder auch Prozesse, den sogenannten Schichten Datenhaltung, eigentliche Anwendung und Benutzeroberfläche zugeordnet.⁶⁵ Die Datenhaltung spiegelt sich in den Relationen des Datenbankentwurfs wider. Die Benutzeroberfläche ist durch die Interaktion mit dem Anwender gekennzeichnet. Die Schicht eigentliche Anwendung umfaßt alle nicht diesen Schichten zugehörigen Prozesse.

Abbildung 5 stellt den Zusammenhang zwischen der Menüstruktur und den Prozessen anhand eines Ausschnitts der Benutzeroberfläche dar. Die hinter den Menüpunkten angegebenen Prozesse sind Bestandteil der Benutzeroberfläche. Der Aufruf des Menüpunktes „Datenerfassung→Fächer“ führt zu einem Dateneingang in den entsprechenden Prozeß, welcher seinerseits Daten in die entsprechende Relation des Datenbankmodells ausliest.

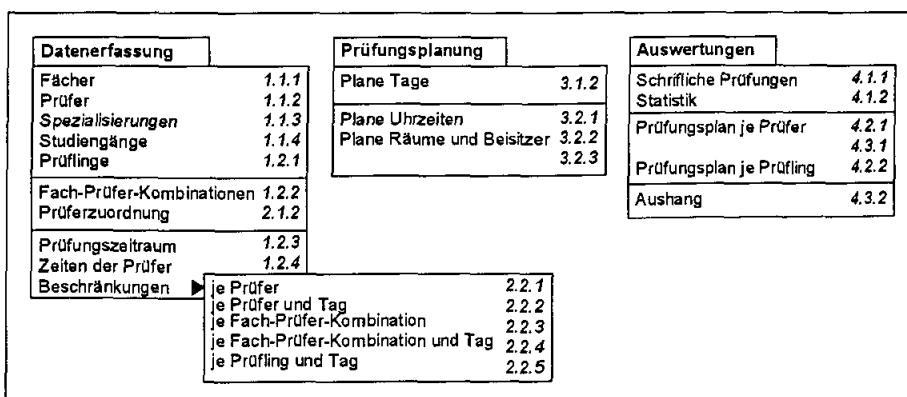


Abbildung 5: Ausschnitt der Menüstruktur

Die Einteilung in die beschriebenen Schichten legt einen Verweis auf das zu Beginn dieses Abschnitts vorgestellte DDM-Paradigma nahe. Dieses fordert bei der Erstellung eines Decision Support Systems eine ausgewogene Berücksichtigung der Komponenten Daten, Dialog und Modell. Die Komponente Daten findet sich in der Schicht Datenhaltung wieder und ist ausführlich bei der Erstellung des Entity Relationship-Modells und dessen Überführung in ein relationales Datenbankmodell berücksichtigt worden. Die

einen Fremdschlüssel darstellt.

⁶³Typische Datentypen sind: ganzzahliger Wert, alphanumerischer Wert, boolescher Wert, Datum, Uhrzeit oder autoinkrementeller Zähler.

⁶⁴Eine Transformationsanalyse zur Ableitung von Struktur- aus Datenflußdiagrammen wird nicht durchgeführt.

⁶⁵Zur Schichtenarchitektur vgl. Balzert (1996).

Komponente Dialog wird durch Abbildung 5 veranschaulicht und im Zuge der sich anschließenden Software-Spezifikation detailliert und im Pilotsystem frühzeitig evaluiert. Auf die Komponente Modell, welche einen wesentlichen Teil der eigentlichen Anwendung darstellt, wurde in Abschnitt 4 ausführlich eingegangen. Somit ist dem DDM-Paradigma in adäquater Form Rechnung getragen worden.

Software-Spezifikation. Die Software-Spezifikation des Funktions- und Leistungsumfanges sowie des Verhaltens der Systemkomponenten kann informal, semiformal oder formal erfolgen.⁶⁶ Im betrachteten Fall ist für jeden Prozeß anzugeben, wodurch ein Aufruf des Prozesses ausgelöst werden kann, welche Daten ein- und ausgehen sowie an wen die Daten weitergeleitet werden. Auf Angabe dieser umfangreichen Software-Spezifikation wird im Rahmen dieser Arbeit jedoch verzichtet.

Pilotsystem. In einem Pilotsystem werden dem späteren Anwender erste Komponenten der Software zum praktischen Einsatz zur Verfügung gestellt. Mittels eines derartigen Pilotsystems wird einerseits eine Überprüfung der bisherigen Software-Entwicklung angestrebt, andererseits dient es der Sicherstellung der Akzeptanz seitens der Anwender, indem diese frühzeitig mit dem System vertraut gemacht werden.

Am Prüfungsamt der WiSo-Fakultät ist ein Pilotsystem in zwei Stufen erprobt worden: Das Pilotsystem der ersten Stufe setzte zentrale Funktionalitäten des direkten Planungsprozesses um, wodurch die erstmalige automatisierte Erstellung eines Prüfungsplanes auf Tagesbasis durch die Anwender erfolgen konnte. In diesem Zusammenhang wurden lediglich kleinere Änderungswünsche identifiziert. Zum einen bedurfte es der Darstellung zusätzlicher Daten in einzelnen Fenstern der Benutzeroberfläche, zum anderen wurde dem Wunsch nach zusätzlichen Auswertungen Rechnung getragen. Das Pilotsystem der zweiten Stufe setzte wesentliche Funktionalitäten des Umfeldes der Prüfungsplanung um, wodurch erstmalig eine Datenerfassung von Prüfungsdaten durch die Anwender erfolgen konnte. Wiederum offenbarte sich lediglich ein Bedarf nach zusätzlichen Auswertungen.

Alle Änderungswünsche hinsichtlich des Pilotsystems konnten im Zuge der weiteren Software-Entwicklung berücksichtigt werden. Eine Modifikation des relationalen Datenmodells war nicht notwendig. Alle für zusätzliche Auswertungen erforderlichen Daten lagen innerhalb des relationalen Datenbankmodells bereits vor. Das Pilotsystem wurde seitens der MitarbeiterInnen des Prüfungsamtes der WiSo-Fakultät sehr positiv aufgenommen.

Revidierende Planung. Bei der Erstellung eines Prüfungsplans ist bisher davon ausgegangen worden, dass die Planungsdaten mit Sicherheit vorliegen. In der Praxis kommt jedoch gerade der Berücksichtigung von Datenänderungen eine große Bedeutung zu. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird auf den Ansatz der revidierenden Planung zurückgegriffen.

Kennzeichnend für die revidierende Planung ist, dass Änderungen in den Planungsdaten erst bei deren tatsächlichem Auftreten berücksichtigt, und nicht vorab einkalkuliert werden. Später auftretende Änderungen der Planungsdaten führen sodann zu Anpassun-

⁶⁶Vgl. Balzert (1996); informale Spezifikation ist in der Praxis üblich.

gen des Plans.⁶⁷ Eine solche Vorgehensweise erscheint insbesondere angebracht, da im Rahmen der Prüfungsplanung ungewiß ist, ob und, wenn ja, in welchem Umfang Datenänderungen auftreten.

Je weitgehender ein Prüfungsplan bereits umgesetzt worden ist, desto wichtiger ist es, die Änderungen des Prüfungsplans in Grenzen zu halten. Nachfolgend werden drei Stufen der Realisation eines mündlichen Prüfungsplans unterschieden. Dementsprechend lassen sich in Abhängigkeit vom Zeitpunkt des Auftretens von Datenänderungen Handlungsempfehlungen gemäß Tabelle 3 angeben.⁶⁸

Zeitpunkt des Auftretens der Datenänderung	Handlungsempfehlung
vor Bekanntgabe des Prüfungsplans bei Prüfern und Prüflingen	automatisierte Neuplanung
nach Bekanntgabe des Prüfungsplans bei den Prüfern	revidierende Planung unter Einschränkung ausgewählter Ressourcenangebote
nach Bekanntgabe des Prüfungsplans bei den Prüflingen	manuelle Berücksichtigung

Tabelle 3: Handlungsempfehlungen bei Datenänderungen

Aufgrund der durch die Automatisierung verkürzten Dauer des direkten Planungsprozesses kann zukünftig auch noch relativ kurzfristig vor Bekanntgabe des Prüfungsplans eine Neuplanung auf Basis geänderter Planungsdaten erfolgen, während dies bisher nicht möglich war. Für Datenänderungen nach Bekanntgabe des Prüfungsplans bei den Prüfern kann nicht davon ausgegangen werden, dass Prüfer bisher ungenutzte Prüfungstermine weiterhin zur Verfügung stellen. Aufgrund dessen sind die Ressourcenangebote der revidierenden Planung in Anbetracht der Ressourcennachfragen des zuvor vorliegenden Prüfungsplans festzulegen. Somit sollten die Änderungen von Prüfungsterminen der Prüfer einfacher zu berücksichtigen sein. Datenänderungen nach Bekanntgabe des Prüfungsplans bei Prüfern und Prüflingen sind üblicherweise manuell zu berücksichtigen.

5.4 Implementierung

Innerhalb der Phase Implementierung erfolgt die Umsetzung des Programmentwurfs in Programmcode. In diesem Abschnitt werden dazu die Aspekte Entwicklungsumgebung, Datenbank, Prozeduren und Qualitätssicherung skizziert.

Die Wahl der Entwicklungsumgebung basierte unter anderem auf den folgenden Anforderungen: Einsetzbarkeit unter Windows 95/NT, Verfügbarkeit eines adäquaten Datenbanksystems, Integrierbarkeit der Lösungsverfahren Tabu Search und Ameisen-System,

⁶⁷Vgl. Salewski und Nissen (1995).

⁶⁸Im Falle eines nur sehr geringen Umfanges der Datenänderung ist von einer manuellen Berücksichtigung durch den Planer auszugehen.

einfache Erstellung eines Installationsprogramms. Angesichts der genannten Anforderungen wurde Delphi 3 von Inprise gewählt.

Neben der Datenbank hat im Zuge der Implementierung auch eine Umsetzung der Prozesse des Strukturierten Designs in Prozeduren zu erfolgen. Angesichts gegebenenfalls später notwendig werdender Programmänderungen kommt hierbei der Verbalisierung und Kommentierung große Bedeutung zu.⁶⁹

Um die Einhaltung aller Anforderungen im Zuge der Software-Entwicklung zu gewährleisten, bedarf es qualitätssichernder Maßnahmen. Hierzu zählt sowohl der Einsatz des Pilotsystems als auch die Durchführung geeigneter Tests. Parallel zur Implementierung erfolgen Modul- und Integrationstests. Ein erfolgreicher Systemtest schließt die Phase Implementierung ab.

5.5 Abnahme und Einführung

Die Phase Abnahme und Einführung beinhaltet den Abnahmetest, die Installation, die Datenübernahme sowie die Inbetriebnahme. Im Rahmen des Abnahmetests überprüft der Auftraggeber, ob die Software die geforderten Anforderungen erfüllt, und nimmt das Programm bei Erfüllung der Anforderungen ab.⁷⁰ Da für das Prüfungsamt der WiSo-Fakultät zwei Stufen eines Pilotsystems entwickelt worden sind, erfolgte kein expliziter Abnahmetest.

Als Beleg der erfolgreichen Installation, Datenübernahme und Inbetriebnahme des entwickelten Decision Support Systems sei darauf verwiesen, dass sich das Software-Produkt seit Sommersemester 1999 im Betrieb befindet. Sowohl für den direkten Planungsprozeß als auch für die Aktivitäten im Umfeld der Prüfungsplanung konnte die aufzuwendende Zeit wesentlich reduziert werden.

Um die zukünftige Verwendung des Decision Support Systems zu gewährleisten, ist es notwendig, in die Phase Wartung und Pflege überzugehen. Dieser Phase obliegt die Behebung von im laufenden Betrieb auftretenden Fehlern, die Anpassung an geänderte Umweltbedingungen sowie die Umsetzung neuer Wünsche und Anforderungen.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden Modelle und Methoden sowie ein Decision Support System zur Automatisierung der universitären Prüfungsplanung eingeführt. Ausgangspunkt ist eine konsequente Berücksichtigung der Anforderungen der Praxis an deutschen Hochschulen. Die Orientierung am Vorgehen der Software-Entwicklung ist Basis der erfolgreichen Konzeption, Realisierung und Einführung eines Decision Support Systems zur mündlichen Prüfungsplanung am Diplom-Prüfungsamt der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Universität zu Kiel. Hierzu gehört auch die Entscheidung

⁶⁹ 'Verbalisierung' kennzeichnet die Wahl aussagekräftiger Namen innerhalb des Programms, während mit 'Kommentierung' die Beschreibung des Programmablaufs durch Erläuterungen gemeint ist.

⁷⁰ Bei Erstellung eines kommerziellen Software-Produktes kommt dem Abnahmetest in der Regel eine rechtliche Bedeutung zu.

für den Einsatz eines Pilotsystems, um so einerseits frühzeitig bisher unberücksichtigte Anforderungen zu identifizieren und andererseits die Akzeptanz seitens der Anwender zu erhöhen.

Summary

The topic of the paper are models, methods and a decision support system for examination timetabling. As starting point we discuss the requirements at German universities. The software development phases are the primary basis for the successful development of a decision support system. This implies, among others, that a pilot system is used in order to identify practical requirements. Apparently, this is a prerequisite also for the design and implementation of a system which is accepted by the users.

Literatur

- [1] Albers, S. Optimale Allokation von Hochschul-Budgets, *Die Betriebswirtschaft*, 59. Jg. (1999), S. 583–598.
- [2] Aubin, J., Ferland, J.A. A Large Scale Timetabling Problem, *Computers & Operations Research*, Vol. 16 (1989), S. 67–77.
- [3] Balzert, H. Lehrbuch der Software-Technik, Band 1: Software-Entwicklung, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg u.a., 1996.
- [4] Böhler, C. Universitäre Prüfungsplanung — Konzeption und Realisierung eines Entscheidungsunterstützungssystems, Diplomarbeit, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 1999.
- [5] Bullnheimer, B. An Examination Scheduling Model to Maximize Students' Study Time, in: Burke, E., Carter, M.W. (Hrsg.), *Practice and Theory of Automated Timetabling II*, 1998, Springer, Berlin u. a., S. 78–91.
- [6] Cangalovic, M., Kovacevic-Vujcic, V., Ivanovic, L., Drazic, M. Modeling and Solving a Real-Life Assignment Problem at Universities, *European Journal of Operational Research*, Vol. 110 (1998), S. 223–233.
- [7] Chroust, G. Modelle der Software-Entwicklung, Oldenbourg, München-Wien, 1992.
- [8] Conger, S.A. The New Software-Engineering, Wadsworth Publishing Company, Belmont, California, 1994.
- [9] Corne, D., Ross, P. Peckish Initialisation Strategies for Evolutionary Timetabling, in: Burke, E.K., Ross, P. (Hrsg.), *Practice and Theory of Automated Timetabling*, 1996, Springer, Berlin u. a., S. 227–240.

- [10] David, P. A Constraint-Based Approach for Examination Timetabling Using Local Repair Techniques, in: Burke, E., Carter, M.W. (Hrsg.), *Practice and Theory of Automated Timetabling II*, 1998, Springer, Berlin u. a., S. 169–186.
- [11] de Werra, D. An Introduction to Timetabling, *European Journal of Operational Research*, Vol. 19 (1985), S. 151–162.
- [12] Debus, F. Der Dekan der Zukunft — ein Manager?, Eine Betrachtung der aktuellen Diskussion, *Forschung & Lehre: Mitteilungen des deutschen Hochschulverbandes*, 1996, Nr. 9, S. 466–467.
- [13] Deutsche Bundesbank. Monatsbericht April 2000, Frankfurt a. M., 2000.
- [14] Durst, F. Dynamisches Modell, Überlegungen zur Struktur und Finanzierung der Universitäten, *Forschung & Lehre: Mitteilungen des deutschen Hochschulverbandes*, 1999, Nr. 2, S. 77–79.
- [15] Elmasri, R.A., Navathe, S.B. *Fundamentals of Database Systems*, 2. Aufl., The Benjamin/Cummings Publishing Company, Redwood City, California, 1994.
- [16] Fandel, G. Funktionalreform der Hochschulleitung, *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 68. Jg. (1998), S. 241–257.
- [17] Hertz, A. Tabu Search for Large Scale Timetabling Problems, *European Journal of Operational Research*, Vol. 54 (1991), S. 39–47.
- [18] Jünke, M. Zur Terminplanung schriftlicher und mündlicher Prüfungen unter Anwendung exakter und heuristischer Methoden der Graphenfärbung, Universität Göttingen 1991.
- [19] Juretzka, J. Universitäre Prüfungsplanung — Modelle, Methoden und ein Decision Support System, Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2000.
- [20] Kieser, A. Die Evaluation wirtschaftswissenschaftlicher Fachbereiche, *Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, 25. Jg. (1996), S. 545–548.
- [21] Mehta, N.K. The Application of a Graph Coloring Method to an Examination Scheduling Problem, *Interfaces*, Vol. 11/5 (1981), S. 57–65.
- [22] Pagel, B.U., Six, H.-W. *Software-Engineering: Die Phasen der Softwareentwicklung*, Band 1, Addison-Wesley, Bonn u. a., 1994.
- [23] Raasch, J. *Systementwicklung mit Strukturierten Methoden — Ein Leitfaden für Praxis und Studium*, 3. Aufl., Carl Hanser, München, 1993.
- [24] Salewski, S., Nissen, R. Revidierende hierarchische Planung — Ein Konzept am Beispiel der Personaleinsatzplanung in Wirtschaftsprüfungsgesellschaften, *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 65. Jg. (1995), S. 1109–1133.

- [25] Schröder, G. Presseunterrichtung durch Bundeskanzler Gerhard Schröder im Anschluß an das Gespräch des Bundeskanzlers mit dem Vorstand und dem Beirat der Initiative D21 über das Thema „Deckung des IT-Fachkräftebedarfs in Deutschland“, 2000, 13. März 2000, Berlin.
- [26] Speck, D. Zwischen Kollegialität und Monokratie, Das historische Amt des Dekans, *Forschung & Lehre: Mitteilungen des deutschen Hochschulverbandes*, 1996, Nr. 9, S. 468–471.
- [27] Sprague Jr., R.H., Watson, H.J. Decision Support Systems — Putting Theory into Practice, 2. Aufl., Prentice–Hall International, London, 1989.
- [28] Wren, A. Scheduling, Timetabling and Rostering — A Special Relationship?, in: Burke, E., Ross, P. (Hrsg.), *Practice and Theory of Automated Timetabling*, Springer, Berlin u. a., 1996, S. 46–75.
- [29] Zimmerling, W. Prüfungsrecht, Heymanns, Köln u. a., 1998.