

**Erweiterungen des fallbasierten Schließens
zur prognostischen Fundierung
von Planungsaufgaben**

Konzeption und prototypische Implementierung
am Beispiel von Kapazitätsnachfrageprognosen
zur Fundierung der Kapazitätsplanung
auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme

Inauguraldissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der Wirtschaftswissenschaften des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften
der Universität Osnabrück

vorgelegt von

Dipl.-Kfm. Daniel Pöppelmann

Osnabrück, Dezember 2014

Dekan:	Prof. Dr. rer. pol. Thomas Gaube
Referenten:	Prof. Dr.-Ing. Bodo Rieger
	Prof. Dr. rer. pol. Uwe Hoppe
Tag der Disputation:	19.12.2014

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner fünfeinhalbjährigen Tätigkeit als Studiengangkoordinator am Institut für Informationsmanagement und Unternehmensführung (IMU) der Universität Osnabrück.

Die erfolgreiche Fertigstellung dieser Arbeit war nur durch die großartige Unterstützung von Personen aus meinem beruflichen und privaten Umfeld möglich, die mich während der gesamten Bearbeitungszeit stets mit wertvollen Ideen, unzähligen Diskussionsrunden und persönlicher Unterstützung motiviert und inspiriert haben.

Allen voran gebührt ganz besonderer Dank meinem Doktorvater, Prof. Dr.-Ing. Bodo Rieger. Durch die ständige Bereitschaft zum konstruktiven wissenschaftlichen Diskurs, regelmäßige, auch formlose Feedbackgespräche und nicht zuletzt das Einräumen vieler Freiräume für die Forschungstätigkeit hat er wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen. Auch Herrn Prof. Dr. Uwe Hoppe danke ich für die wertvolle Unterstützung, ergebnisreiche Diskussionen und die Übernahme des Koreferats.

Hervorheben möchte ich an dieser Stelle die kollegiale, oft freundschaftliche Zusammenarbeit am Fachgebiet BWL/Management Support und Wirtschaftsinformatik. Insbesondere die oft stundenlangen Diskussionen mit Dr. Christian Schultewolter waren nicht nur wissenschaftlich spannend, sondern auch auf persönlicher Ebene kurzweilig. Auch allen weiteren Kollegen am IMU danke ich herzlich für wertvolle Unterstützung, besonders Dr. Christopher Harb, Axel Benjamins, Sonja Schulze, Daniel Klusmann, Katharina Kröger, Jutta Stelter und Barbara Meierkord.

Natürlich wäre die Umsetzung meines Forschungsvorhabens ohne meine Eltern Susanne und Hartmut Pöppelmann und meine Frau Kirsten Pöppelmann niemals möglich gewesen. Durch ihr Interesse und ihre unbedingte Unterstützung haben sie mir den notwendigen Rückhalt gegeben, um diese Arbeit fertigzustellen. Ihnen sei diese Arbeit gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XIII
Abkürzungsverzeichnis	XIV
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung	1
1.2 Forschungsmethodik	4
1.3 Aufbau der Arbeit	5
I Die zentrale Bedeutung prognostisch fundierter Kapazitätsplanung in hochschulinternen Planungssystemen	
2 Kapazitätsplanung als Aufgabe des Hochschulmanagements	10
2.1 Hochschulmanagement	10
2.1.1 Rahmenbedingungen des Hochschulmanagements	10
2.1.1.1 Effizienz- und wettbewerbsorientierte Hochschulreform	10
2.1.1.2 Ziele und Zielsystem von Hochschulen	16
2.1.1.3 Organisationsstrukturen von Hochschulen	19
2.1.2 Ausgestaltung des Hochschulmanagements	24
2.1.2.1 Theoretische Einordnung des Managementbegriffs	24
2.1.2.2 Aufgabenspektrum der Mitglieder der professionellen Bürokratie Hochschule	26
2.1.2.3 Abgrenzung von Aufgaben und Mitgliedern des Hochschulmanagements	28
2.2 Die Managementfunktion Planung unter besonderer Berücksichtigung des Zukunftsbezugs durch Prognose	31
2.2.1 Gestaltungsaspekte der Planung	31
2.2.1.1 Einordnung und Funktionen der Planung	31
2.2.1.2 Ordnung von Teilplanungen in Planungssystemen	34

2.2.1.3	Phasen eines Planungsprozesses	37
2.2.2	Gestaltungsaspekte der Prognose zur Fundierung von Planungsprozessen	41
2.2.2.1	Stufen eines Prognoseprozesses.....	41
2.2.2.2	Prognosearten und Prognosehorizont.....	43
2.2.2.3	Prognosemethoden	45
2.3	Zentralität der Kapazitätsplanung in hochschulinternen Planungssystemen....	50
2.3.1	Ausgestaltung hochschulinterner Planungssysteme.....	50
2.3.2	Einordnung und Funktionen der Kapazitätsplanung.....	53
2.3.3	Besonderheiten und Aufgaben der hochschulinternen Kapazitätsplanung	57
3	Analyse des Prognosebedarfs und des Einsatzpotenzials ausgewählter Prognosemethoden zur Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung	67
3.1	Prognostische Fundierung der Kapazitätsplanung auf strategisch-taktischer Ebene des hochschulinternen Planungssystems	67
3.1.1	Prognosebedarf zur Festlegung einer Kapazitätsstrategie.....	67
3.1.2	Prognosebedarf der Kapazitätsdimensionierung.....	69
3.2	Prognostische Fundierung der Kapazitätsplanung auf operativer Ebene des hochschulinternen Planungssystems.....	71
3.2.1	Prognosebedarf der Kapazitätsbelegung	71
3.2.2	Prognosebedarf der Terminplanung	73
3.3	Einsatzpotenzial und Grenzen ausgewählter Prognosemethoden zur Deckung des Prognosebedarfs.....	74
3.3.1	Prognosen von Studierendenzahlen und Teilnehmerzahlen auf Basis quantitativer Prognosemethoden.....	75
3.3.2	Prognose von Studierendenzahlen und Teilnehmerzahlen auf Basis qualitativer Prognosemethoden.....	81
3.3.3	Zusammenfassende Bewertung der diskutierten Methoden	82
II	Entwurf eines Konzepts zur Fundierung der Kapazitätsplanung mit Nachfrageprognosen	
4	Methodische Grundlagen des Konzepts.....	84
4.1	Decision Support Systeme (DSS).....	84
4.1.1	Definition und Einordnung von DSS	84
4.1.2	Komponenten eines DSS.....	86
4.1.3	Klassifizierung spezifischer DSS	88
4.1.4	Die Eignung von DSS zur prognostischen Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung.....	92
4.2	Case-based Reasoning (CBR).....	95

4.2.1	Grundlagen des CBR-Paradigmas.....	95
4.2.2	Wissensrepräsentation in CBR-Systemen.....	96
4.2.2.1	Fälle als zentrales Konzept zur Repräsentation spezifischen Wissens	96
4.2.2.2	Formalismen zur Repräsentation von Wissen durch Fälle.....	98
4.2.2.3	Bereitstellung spezifischen Wissens in einer Fallbasis.....	104
4.2.2.4	Repräsentation generellen Wissens zur Bestimmung der Nützlichkeit sowie zur Adaption von Fällen.....	105
4.2.3	Problemlösungsprozesse in CBR-Systemen	114
4.2.4	Potenziale und Grenzen von CBR-Systemen zur prognostischen Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung	118
5	Konzept eines zusammengesetzten DSS zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung	123
5.1	Gesamtkonzept	123
5.1.1	Ein integrierter Ansatz zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems	123
5.1.2	Grobkonzept eines zusammengesetzten DSS zur Realisierung des Ansatzes	128
5.2	Die CBR-Komponente.....	130
5.2.1	Repräsentation individueller studentischer Erfahrungen durch Fälle ...	130
5.2.1.1	Grundstruktur eines Falls	130
5.2.1.2	Auswahl geeigneter Fallattribute	135
5.2.1.3	Bereitstellung individueller Erfahrungen in einer Fallbasis ...	143
5.2.2	Angepasster und erweiterter CBR-cycle zur Prognose individueller Studienverläufe	144
5.2.2.1	Die Anpassungen und Erweiterungen im Überblick.....	144
5.2.2.2	Initialize – Akquisition individueller studentischer Erfahrungen.....	148
5.2.2.3	Identify – Automatisierte Erkennung zu lösender Probleme und Aufbau einer Query Base	149
5.2.2.4	Retrieve – Dynamischer Aufbau der Fallkomponenten Beschreibung und Lösung sowie Auswahl eines Retrieved Case.....	152
5.2.2.5	Reuse – Transformative Erstellung eines Prognosevorschlags.....	162
5.2.2.6	Repeat – Erhöhung des Prognosehorizonts mittels Virtual Query Cases	165
5.2.2.7	OntologyRule(OR)-Revise – Validierung der Prognose durch Ontologie-Regel-Integration.....	171

5.2.2.8	Save – Serialisierung der Prognose.....	177
5.2.2.9	IndividualStudentPreferences(ISP)-Revise – Zeitasynchrone Einbeziehung individueller studentischer Präferenzen	177
5.3	Die datengetriebene Komponente.....	180
5.3.1	Berichtswesen zur Bereitstellung von Prognoseergebnissen	180
5.3.2	Datenbanksystem zur Versorgung des Berichtswesens mit aufbereiteten Prognoseergebnissen	183
5.4	Steuerung und Zusammenspiel der Komponenten.....	183
III Prototypische Umsetzung und Evaluation des Konzepts		
6	Prototypische Implementierung des Konzepts.....	186
6.1	Entwicklungsumgebung	186
6.2	Implementierung der Benutzerschnittstelle	191
6.3	Implementierung der CBR-Komponente.....	196
6.3.1	Strukturierung des Programmcodes	196
6.3.2	Realisierung der Wissensrepräsentation.....	198
6.3.2.1	Repräsentation individueller studentischer Erfahrungen durch Fälle.....	198
6.3.2.2	Ontologiebasierte Repräsentation generellen Wissens	201
6.3.3	Realisierung des angepassten und erweiterten CBR-cycles.....	203
6.3.3.1	Initialize	203
6.3.3.2	Identify	206
6.3.3.3	Retrieve	208
6.3.3.4	Reuse.....	213
6.3.3.5	Repeat.....	213
6.3.3.6	OR-Revise.....	215
6.3.3.7	Generate and Solve Dummy Cases.....	218
6.3.3.8	Save.....	220
6.3.3.9	ISP-Revise.....	223
6.4	Implementierung der datengetriebenen Komponente.....	227
6.4.1	Realisierung des Datenbanksystems	227
6.4.2	Realisierung des Berichtswesens	230
7	Evaluation	236
7.1	Ziele, Kriterien und Vorgehen.....	236
7.1.1	Explizierung von Evaluationsziel und Evaluationskriterium.....	236
7.1.2	Auswahl von Evaluationsmaßen zur Operationalisierung des Evaluationskriteriums	237

7.1.3	Vorgehensweise zur Ermittlung der Evaluationsmaße	241
7.1.3.1	Auswahl des Untersuchungsdesigns	241
7.1.3.2	Prognosesimulation zur Ermittlung von Beobachtungs- Prognose-Paaren auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender	242
7.1.3.3	Berechnung der Evaluationsmaße auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender	248
7.1.3.4	Prognosesimulation zur Ermittlung von Beobachtungs- Prognose-Paaren für die Bewertung der Prognosegenauigkeit im Vergleich mit einem Referenzverfahren	252
7.1.3.5	Berechnung der Evaluationsmaße auf dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren	256
7.2	Ergebnisse und Interpretation	257
7.2.1	Analyse der Prognosegenauigkeit auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender	257
7.2.2	Benchmarkbasierte Analyse der Prognosegenauigkeit auf dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren	262
7.3	Zusammenfassende Bewertung des Konzepts	265
8	Zusammenfassung und Perspektiven	269
8.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	269
8.2	Zukünftiger Forschungsbedarf	271
	Anhang	274
	Literaturverzeichnis	XVI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Inhaltlicher Aufbau der Arbeit	6
Abbildung 2-1: Strukturelemente einer Organisation.....	21
Abbildung 2-2: Professionelle Bürokratie	22
Abbildung 2-3: Organisationseinheiten der professionellen Bürokratie Hochschule	23
Abbildung 2-4: Aufgaben und Mitglieder des operativen und strategischen Hochschulmanagements.....	30
Abbildung 2-5: Phasen des Planungsprozesses	37
Abbildung 2-6: Stufen der Prognosephase	42
Abbildung 2-7: Ebenen eines hierarchischen Planungssystems in der Organisation Hochschule	53
Abbildung 4-1: Komponenten eines DSS.....	86
Abbildung 4-2: Beispiel der Fallrepräsentation mittels Attribut-Wert Paaren.....	101
Abbildung 4-3: Beispiel der objektorientierten Fallrepräsentation	103
Abbildung 4-4: Ähnlichkeitsberechnung nach dem rekursiven Lokal-Global Prinzip ..	108
Abbildung 4-5: Ähnlichkeitsberechnung nach dem rekursiven Lokal-Global Prinzip - ceteris paribus Erhöhung der Objektähnlichkeit	109
Abbildung 4-6: CBR-cycle	115
Abbildung 4-7: Objektorientierte Repräsentation zeitabhängiger Komponenten einer Erfahrung.....	120
Abbildung 5-1: Substitution der Prognose der Zahl der Studierenden je Modul durch Aggregation.....	125

Abbildung 5-2: Substitution der Prognose der Zahl der Studierenden je Fachbereich durch Aggregation.....	126
Abbildung 5-3: Grobkonzept eines zusammengesetzten DSS	128
Abbildung 5-4: Grundstruktur einer objektorientierten Fallrepräsentation für individuelle studentische Erfahrungen	132
Abbildung 5-5: Objektorientierte Fallrepräsentation für individuelle Erfahrungen.....	143
Abbildung 5-6: Erweiterter und angepasster CBR-cycle	145
Abbildung 5-7: Objektdiagramm eines Query Case.....	155
Abbildung 5-8: Objektdiagramm zweier Previous Cases vor der dynamischen Reorganisation.....	156
Abbildung 5-9: Objektdiagramm zweier Previous Cases nach der dynamischen Reorganisation.....	157
Abbildung 5-10: Beispiel der Ähnlichkeitsberechnung nach dem angepassten Lokal-Global Prinzip	161
Abbildung 5-11: Objektdiagramm zur Verdeutlichung des Subprozesses Reuse	164
Abbildung 5-12: Objektdiagramm eines aus dem Subprozess Reuse resultierenden Solved Case	165
Abbildung 5-13: Objektdiagramm eines Virtual Query Case	168
Abbildung 5-14: Objektdiagramm eines Iterated Solved Case	169
Abbildung 5-15: Objektdiagramm eines reorganisierten Iterated Solved Case	171
Abbildung 5-16: Beispiel der Repräsentation von Wissen über einen Studiengang in einer Ontologie.....	173
Abbildung 5-17: Falladaption auf Basis von Regeln und einer Ontologie.....	175
Abbildung 6-1: Die JSF-Seite index.xhtml - Anmeldung an der realisierten Web-Anwendung	192
Abbildung 6-2: Die JSF-Seite indexAdmin.xhtml – Übersicht der Interaktionsmöglichkeiten für Benutzer mit der Rolle Administrator ..	193
Abbildung 6-3: Die JSF-Seite AdminAppConfig.xhtml – Steuerung der CBR-Komponente (Teil 1).....	193

Abbildung 6-4: Die JSF-Seite AdminAppConfig.xhtml – Steuerung der CBR-Komponente (Teil 2)	194
Abbildung 6-5: Die JSF-Seite AdminAppConfig.xhtml – Steuerung der CBR-Komponente (Teil 3)	195
Abbildung 6-6: Die JSF-Seite AdminAppConfig.xhtml – Steuerung der CBR-Komponente (Teil 4)	195
Abbildung 6-7: Struktur des JSF-Projekts WebCBR	196
Abbildung 6-8: Fallrepräsentation in jCOLIBRI.....	198
Abbildung 6-9: Umsetzung des Konzepts der Fallrepräsentation mit dem jCOLIBRI Framework	199
Abbildung 6-10: Zentrale Klassen der realisierten OWL-Ontologie zur Repräsentation generellen Wissens	201
Abbildung 6-11: Datenmodell der Persistenzschicht	204
Abbildung 6-12: Regel zur Abbildung von Wissen aus einer Prüfungsordnung	216
Abbildung 6-13: Bereitstellung von Zeitreihendaten für die Prognose von Neueinschreibungen	219
Abbildung 6-14: Datenmodell der Prediction Base	222
Abbildung 6-15: Visualisierung personenbezogener Daten und realisierter Studienleistungen	224
Abbildung 6-16: Visualisierung prognostizierter Modulbelegung je Semester	225
Abbildung 6-17: Datenmodell des Datenbanksystems der datengetriebenen Komponente	228
Abbildung 6-18: Hierarchie der Dimensionselemente der Dimension Faculty.....	230
Abbildung 6-19: Standardbericht zur Fundierung der Kapazitätsbelegung - Eingabeaufforderungsseite	232
Abbildung 6-20: Standardbericht zur Fundierung der Kapazitätsbelegung - Kapazitätsnachfrage je Fachbereich und Semester	233
Abbildung 6-21: Standardbericht zur Fundierung der Kapazitätsbelegung - Kapazitätsnachfrage je Institut und Semester	233

Abbildung 6-22: Bericht zur Fundierung der Terminplanung - Eingabeaufforderungsseite	234
Abbildung 6-23: Bericht zur Fundierung der Terminplanung - Anzahl an Überschneidungen.....	235
Abbildung 6-24: OLAP-Sicht zur Fundierung der Kapazitätsplanung auf strategisch-taktischer Ebene des hochschulinternen Planungssystems	235
Abbildung 7-1: Verfahren zur Prognosesimulation auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender.....	243
Abbildung 7-2: Erzeugung eines Simulated Case aus einem Previous Case	246
Abbildung 7-3: Aus der Prognosesimulation resultierender Repaired Case	247
Abbildung 7-4: Zeitreihen der Teilnehmerzahlen ausgewählter Klausuren im ersten Prüfungstermin.....	253
Abbildung 7-5: Prognosesimulation mit dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren auf Basis des Prototypen.....	255
Abbildung 7-6: Auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender erhobene Gütemaße	258
Abbildung 7-7: Auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender bei Verwendung des angepassten Lokal-Global Prinzips ermittelte MRASPs.....	261
Abbildung 7-8: Prognosen und Prognosefehler auf dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren.....	262
Abbildung 7-9: Gegenüberstellung der auf dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren berechneten Gütemaße.....	263

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Prognosebedarf zur Festlegung einer Kapazitätsstrategie.....	69
Tabelle 3-2:	Prognosebedarf der Kapazitätsdimensionierung.....	71
Tabelle 3-3:	Prognosebedarf der Kapazitätsbelegung.....	73
Tabelle 3-4:	Prognosebedarf der Terminplanung.....	74
Tabelle 5-1:	Unabhängige Variablen.....	138
Tabelle 5-2:	Regressionsanalyse der Prädiktorvariablen auf GRADEAV.....	139
Tabelle 5-3:	Regressionsanalyse der Prädiktorvariablen auf SUMECTS.....	140
Tabelle 5-4:	Zusammenfassung der Ergebnisse der Literaturlauswertung und der Regressionsanalysen.....	141
Tabelle 7-1:	Anzahl, Durchschnittsnoten und Summen der ECTS zur Evaluation genutzter Previous Cases.....	244

Abkürzungsverzeichnis

4. HRGÄndG	Viertes Gesetz zur Änderung des HRG
5. HRGÄndG	Fünftes Gesetz zur Änderung des HRG
6. HRGÄndG	Sechstes Gesetz zur Änderung des HRG
7. HRGÄndG	Siebtens Gesetz zur Änderung des HRG
AIS	Association for Information Systems
BI	Business Intelligence
CBR	Case-based Reasoning
CMS	Campus Management System
DMR	Dimensionally Modeled Relational
DRL	Drools Rule Language
DSS	Decision Support System
DWH	Data Warehouse
ETL	Extraktion, Transformation, Laden
HRG	Hochschulrahmengesetz
HZB	Hochschulzugangsberechtigung
JCP	Java Community Process
JDBC	Java Database Connectivity
JSF	JavaServer Faces
KapVO	Kapazitätsverordnung
KI	Künstliche Intelligenz
LGPL	GNU Lesser General Public License

MAP	Mittlerer absoluter Prognosefehler
MAPE	Mean absolute percentage error
MdAP	Median der absoluten Prognosefehler
MdRASP	Median der relativen absoluten symmetrischen Prognosefehler
MdSAPE	Median symmetric absolute percentage error
M-OLAP	Multidimensional Online Analytical Processing
MRAP	Mittlerer relativer absoluter Prognosefehler
MRASP	Mittlerer relativer absoluter symmetrischer Prognosefehler
MVC	Model-View-Controller
OLAP	Online Analytical Processing
OWL	Web Ontology Language
RBR	Rule-based Reasoning
RDFS	Resource Description Framework Schema
R-OLAP	Rational Online Analytical Processing
SIGDSS	Special Interest Group on Decision Support, Knowledge and Data Management Systems
SMAPE	Symmetric mean absolute percentage error
SPARQL	SPARQL Protocol And RDF Query Language
SS	Sommersemester
W3C	World Wide Web Consortium
WS	Wintersemester
XML	Extensible Markup Language

1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielsetzung

Betriebswirtschaftliche Steuerungsinstrumente gewinnen vor dem Hintergrund der Reformprozesse der letzten 15 Jahre im deutschen Hochschulbereich zunehmend an Bedeutung (vgl. Küpper, 2010, S. 62/72 ff.). In Handlungs- und Entscheidungssituationen, die denen privatwirtschaftlicher Unternehmen im globalen Wettbewerb zunehmend ähneln (vgl. Rieger, Haarmann, Höckmann, & Lüttecke, 2009, S. 523), wird mit dem Einsatz dieser Instrumente eine Optimierung der Ressourcensteuerung angestrebt (vgl. Ederleh, 2003, S. 153 f.). In der Privatwirtschaft hat sich die Kapazitätsplanung als ein Teilsystem hierarchischer Planungssysteme etabliert, das die Gestaltung und Lenkung der Kapazität – und damit der Ressourcen – einer Organisation zur möglichst optimalen Erreichung in einem Zielsystem festgelegter Ziele fokussiert (vgl. Kern, 1989, Sp. 1074 f.; Klinge, 1997, S. 152; Pack, 1993, S. 62; Schweitzer, 2003, S. 33). Die Adaption dieses Instruments zur Effizienzsteigerung der Ressourcensteuerung in Hochschulen erscheint grundsätzlich sinnvoll, gestaltet sich jedoch problematisch. Denn innerhalb der Institutionen bestehen erhebliche Schwächen hinsichtlich der informatorischen Fundierung von Planungsprozessen (vgl. Goeken & Burmester, 2004, S. 137; Pellert, 2006, S. 51). Während für die Planung bedeutsame Informationen hinsichtlich zu erreichender Ziele und deren Bedeutung (vgl. Klein & Scholl, 2011, S. 6) u. a. durch den Abschluss von Zielvereinbarungen zwischen Hochschule und Staat (vgl. Bogumil u. a., 2013, S. 35 f.) regelmäßig vorliegen, fehlen insbesondere Informationen hinsichtlich der Inanspruchnahme von Leistungen (vgl. Pellert, 2006, S. 51). Letztere sind jedoch für die Kapazitätsplanung, deren Aufgabe in der Abstimmung eines verfügbaren Leistungsvermögens – des Kapazitätsangebots – mit der Nachfrage nach oder der Inanspruchnahme von Leistungen – der Kapazitätsnachfrage – besteht, unabdingbar (vgl. Corsten, 1992, S. 236; Kern, 1989, Sp. 1075).

Hinsichtlich des die Kapazitätsnachfrage betreffenden Informationsbedarfs sind im Kontext der Kapazitätsplanung zwei Aspekte wesentlich: Erstens ist aufgrund des strukturell-präskriptiven Charakters der Planung (vgl. Macharzina, 1975, S. 29) die Bereitstellung historischer Kapazitätsnachfragegrößen zur Deckung des Bedarfs unzureichend. Vielmehr sind Nachfrageprognosen erforderlich (vgl. Corsten, 1992, S. 236). Zweitens erfolgt die Kapazitätsplanung in der Regel auf drei verschiedenen Ebenen eines Planungssystems, der

strategischen, der taktischen und der operativen (vgl. Corsten, 1992, S. 233 ff.; Schweitzer, 2003, S. 33). Aufgrund der mit diesen Ebenen divergierenden zeitlichen und sachlichen Reichweite der Planung (vgl. Wild, 1982, S. 166) besteht ein Bedarf an Nachfrageprognosen mit unterschiedlichem Zeithorizont und auf verschiedenen Aggregationsniveaus.

Der hochschulwissenschaftliche Diskurs fokussiert im deutschsprachigen Raum strategisch-taktische Komponenten der Planung im Allgemeinen und der Kapazitätsplanung im Speziellen. Kapazitätsplanung wird als Instrument diskutiert, das durch administrative und rechtliche Regelungen eine Studiennachfrage (Kapazitätsnachfrage) mit einem Studienangebot (Kapazitätsangebot) abzustimmen versucht (vgl. Banscherus, 2010, S. 40 f.; Witte & Stuckrad, 2007, S. 1). Insbesondere wird die Steuerung der Kapazitätsnachfrage durch Festlegung von Zulassungszahlen fokussiert. Eine Diskussion operativer Komponenten der Kapazitätsplanung in Hochschulen erfolgt hingegen kaum. Ähnliche Strömungen sind in Großbritannien zu beobachten (vgl. Burgess, Lewis, & Mobbs, 2003, S. 216; Burgess, 1996, S. 65). Sie werden z. B. von Burgess (1996) u. a. damit begründet, dass vor der Durchsetzung der – in Großbritannien ebenfalls angestoßenen – Reformvorhaben eine Planung des Einsatzes der einer Hochschule zur Verfügung stehenden Kapazitäten als nicht notwendig galt.

Dem Fokus der hochschulwissenschaftlichen Diskussion der Planung und der Kapazitätsplanung entsprechend liegen Forschungsergebnisse hinsichtlich der informatorischen Fundierung der Planung und Kapazitätsplanung in Hochschulen durch Nachfrageprognosen¹ bislang hauptsächlich bezogen auf die strategisch-taktische Ebene hochschulinterner Planungssysteme vor (vgl. z. B. Britney, 1975; Gaither, Dukes, & Swanson, 1981; Harden & Tchong, 1971; Johnstone & Philp, 1973; Kwak, Brown, & Schiederjans, 1986). Auf die prognostische Fundierung von Planungen auf der operativen Ebene geht die Forschung hingegen nur sehr vereinzelt (vgl. z. B. Kraft & Jarvis, 2005) ein. Die Effizienz der Leistungserstellung ist jedoch entscheidend determiniert durch die Qualität der Kapazitätsplanung auf dieser Ebene (vgl. Klinge, 1997, S. 161), so dass die vorherrschende Fokussierung des wissenschaftlichen Diskurses verkürzt erscheint.

Zusätzlich zu der unzureichenden Betrachtung der Fundierung operativer Planungsprozesse basieren die in der Literatur vorgeschlagenen Ansätze zur prognostischen Fundierung der Planung im Hochschulbereich in ihrer Mehrzahl auf quantitativen Prognosemethoden.

¹ Im Folgenden wird die informatorische Fundierung von Planungsprozessen durch Prognosen kurz als prognostische Fundierung umschrieben.

Eine Prognose von Nachfragegrößen im Kontext des Kernprozesses Lehre² mittels dieser Methoden erscheint – wie in Kapitel 3.3 ausführlich diskutiert wird – aus zwei Gründen problematisch: Erstens weisen quantitative Prognosemethoden konzeptuelle Schwächen hinsichtlich der Prognose menschlichen Verhaltens auf (vgl. Klein & Scholl, 2011, S. 284). Die Prognose entscheidend durch studentische Wahlhandlungen – mithin durch menschliches Verhalten – determinierter Nachfragegrößen erweist sich daher als schwierig. Zweitens bedingen quantitative Prognosemethoden bzw. die für ihre Anwendung notwendige Spezifikation formaler Prognosemodelle ein tiefes Verständnis kausaler Zusammenhänge der betrachteten Domäne (vgl. Armstrong, 1985, S. 245; Hansmann, 1983, S. 140). Die Reformprozesse der vergangenen Jahre haben zu einer unüberschaubaren Menge an (teilweise eingeschränkten) Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Module, die in verschiedenen Studiengängen verwendet werden können (vgl. Kühl, 2012, S. 16), und damit zu einer deutlichen Erhöhung der Komplexität der betrachteten Domäne geführt. Ein tiefes Verständnis kausaler Zusammenhänge kann daher nicht als gegeben erachtet werden. Aufgrund der Komplexitätssteigerung ist ferner die Übertragbarkeit der in der Literatur vorgeschlagenen, aus der Zeit vor der Durchsetzung der Reformen und in der Mehrzahl aus dem angloamerikanischen Raum stammenden Prognosemodelle auf das gegenwärtige deutsche Hochschulsystem nicht sicher gewährleistet.

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Gestaltungsziel der Konzeption und der prototypischen Realisierung eines Informationssystems - eines generischen Artefakts (vgl. Gericke & Winter, 2009, S. 197; Riege, Saat, & Bucher, 2009, S. 68). Das Informationssystem soll eine prognostische Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme (der strategisch-taktischen und insbesondere der operativen) im Sinne der Erstellung den Bereich Lehre betreffender Nachfrageprognosen und deren Bereitstellung in einer von Entscheidungsträgern der hochschulinternen Kapazitätsplanung verwertbaren Form erlauben. Damit wird das Ziel verfolgt, den oben angeführten, verkürzten Fokus bestehender Forschungsansätze, die auf die prognostische Fundierung nur einzelner Ebenen der hochschulinternen Kapazitätsplanung abzielen, zu überwinden. Zusätzlich soll hinsichtlich der Erstellung der Nachfrageprognosen mithilfe des Informationssystems erstens eine explizite Berücksichtigung individueller studentischer Wahlhandlungen erfolgen, zweitens eine einfache Übertragbarkeit auf eine Vielzahl verschiedener,

² Hier und im weiteren Verlauf der Arbeit wird eine Dominanz der lehrbezogenen Kapazitätsplanung ggü. forschungsbezogenen Planungen angenommen. Daher erfolgt eine Fokussierung der Prognose im Kontext des Kernprozesses Lehre. (vgl. hierzu auch Kapitel 2.3.3)

komplexer Studiengänge gewährleistet und drittens die Abhängigkeit von einem tiefen Verständnis kausaler Zusammenhänge minimiert werden. Damit wird das Ziel verfolgt, die oben genannten Probleme quantitativer Prognosemethoden im Hinblick auf die prognostische Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung mithilfe eines innovativen Ansatzes zur Prognoseerstellung zu überwinden.

1.2 Forschungsmethodik

Zur Erreichung des in Kapitel 1.1 explizierten Ziels erfolgt eine Orientierung am Forschungsparadigma der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik (Österle u. a., 2010). Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Konstruktion und Evaluation eines generischen Artefakts. Sie stellt damit im Rahmen der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik einen validen Forschungsbeitrag dar und ist in das Forschungsgebiet der Artefaktkonstruktion einzuordnen (vgl. Gericke & Winter, 2009, S. 196 f.).

Zur Erreichung des Forschungsziels werden die vier Phasen Analyse, Entwurf, Evaluation und Diffusion, die den Phasen eines in der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik idealtypischen Erkenntnisprozesses entsprechen (vgl. Österle u. a., 2010, S. 4 f.), durchlaufen.

Die Analysephase dient allgemein der Erhebung und Beschreibung einer praxisrelevanten Problemstellung und der Formulierung von Forschungszielen (vgl. Österle u. a., 2010, S. 4 f.). In der vorliegenden Arbeit wird in dieser Phase zunächst auf Basis allgemeiner Bestimmungsfaktoren der Planung und der Kapazitätsplanung unter Berücksichtigung der besonderen Rahmenbedingungen der Domäne Hochschule der auf die Nachfrage im Kernprozess Lehre bezogene Informationsbedarf der Kapazitätsplanung sowie mit der Kapazitätsplanung befasster Entscheidungsträger auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme deduktiv hergeleitet. Anschließend werden diverse in der Literatur vorgeschlagene Methoden hinsichtlich ihrer Eignung zur Befriedigung des Bedarfs analysiert.

Im Rahmen der Phase Entwurf, die allgemein auf die begründete Herleitung eines Artefakts abstellt (vgl. Österle u. a., 2010, S. 4 f.), erfolgt basierend auf theoretischen Erkenntnissen hinsichtlich Decision Support Systemen (DSS) sowie hinsichtlich des Paradigmas des Case-based Reasoning (CBR) und vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Analyse-

phase die Erstellung eines generischen Konzepts eines zusammengesetzten DSS³ zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems.

Die Überprüfung des konzipierten DSS, d. h. die Bewertung der Eignung des Konzepts zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems, erfolgt – dem idealtypischen Erkenntnisprozess der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik folgend (vgl. Österle u. a., 2010, S. 4 f.) – in der Phase Evaluation. Dazu wird das Konzept zunächst prototypisch am Beispiel der Universität Osnabrück realisiert. Mithilfe des Prototyps erfolgen anschließend Prognose-simulationen (vgl. Küsters, 2012, S. 427 ff.) auf verschiedenen Aggregationsniveaus, deren Ergebnisse u. a. durch Gegenüberstellung mit Ergebnissen einer alternativen Prognosemethode bewertet werden.

Die letzte Phase, die Diffusion, fokussiert die Verbreitung der Forschungsergebnisse an relevante Anspruchsgruppen (vgl. Österle u. a., 2010, S. 5). Sie wurde mit der Publikation von zwei wissenschaftlichen Konferenzbeiträgen (Pöppelmann, 2011, 2014) sowie der Diskussion des Konzepts im Rahmen einer praxisorientierten Konferenz begonnen und wird mit der Publikation der vorliegenden Monographie abgeschlossen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Der eng an die Phasen des Erkenntnisprozesses angelehnte inhaltliche Aufbau der Arbeit ist in Abbildung 1-1 überblicksartig zusammengefasst.

Die Arbeit besteht neben dem einleitenden Kapitel 1 „Einleitung“ und dem schließenden Kapitel 8 „Zusammenfassung und Perspektiven“ aus den drei Teilen „Die zentrale Bedeutung prognostisch fundierter Kapazitätsplanung in hochschulinternen Planungssystemen“, „Entwurf eines Konzepts zur Fundierung der Kapazitätsplanung mit Nachfrageprognosen“ und „Prototypische Umsetzung und Evaluation des Konzepts“. Jeder Teil lässt sich unmittelbar einer der ersten drei Phasen des zugrundeliegenden Erkenntnisprozesses zuordnen (vgl. Abbildung 1-1).

³ Ein zusammengesetztes DSS weist Charakteristika mehrerer Klassen spezifischer DSS auf, z. B. Charakteristika wissens- und datengetriebener DSS (vgl. hierzu auch Kapitel 4.1.3).

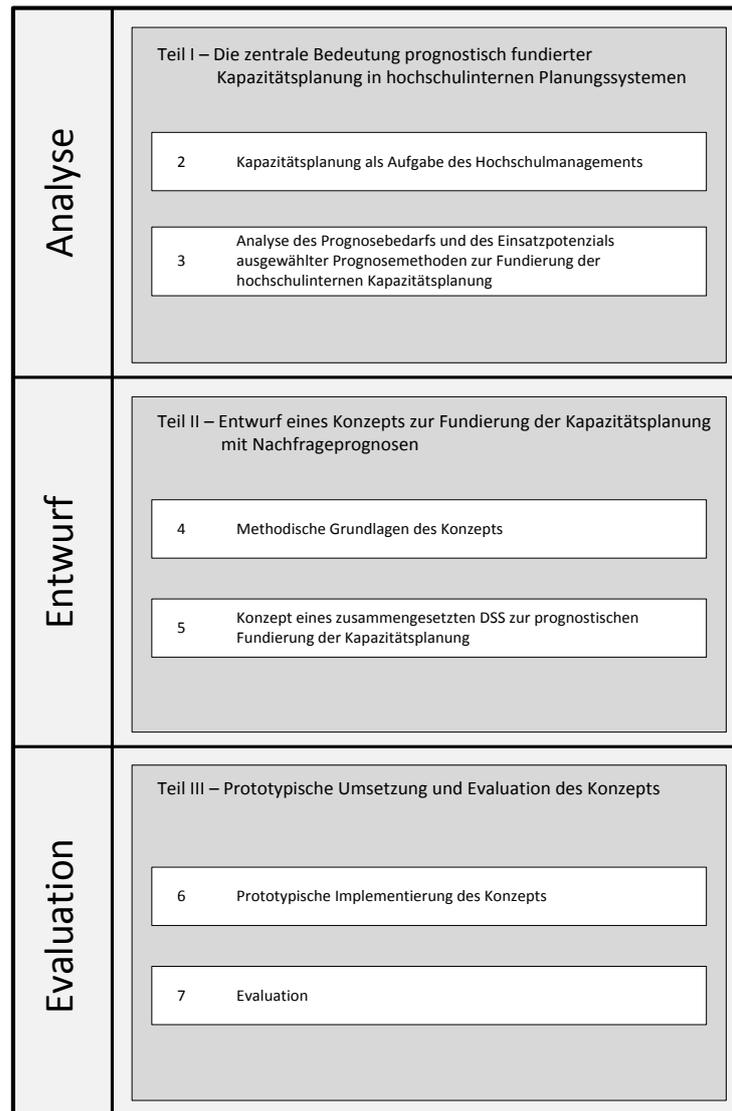


Abbildung 1-1: Inhaltlicher Aufbau der Arbeit

Quelle: Eigene Darstellung

Teil I, der die Kapitel 2 und 3 umfasst, fokussiert die theoretische Einordnung und Abgrenzung der Arbeit. Die Problemstellung und deren Relevanz werden detailliert erörtert, bevor der Stand der Forschung im Hinblick auf die identifizierte Problemstellung kritisch dargelegt wird. Teil II, bestehend aus den Kapiteln 4 und 5, widmet sich der Konzeption eines zusammengesetzten DSS, das einen Vorschlag zur Lösung der in Teil I explizierten Problemstellung darstellt. In Teil III erfolgt mit Kapitel 6 zunächst die Beschreibung der prototypischen Realisierung des Konzepts, auf deren Basis die in Kapitel 7 diskutierte Evaluation durchgeführt wurde.

Im Detail befasst sich Kapitel 2 mit der Diskussion der Grundlagen der hochschulinternen Kapazitätsplanung. Dazu beginnt das Kapitel mit einer Erläuterung der Rahmenbedingungen des Hochschulmanagements, die einerseits den Bezugsrahmen der hochschulinternen

Planung im Allgemeinen sowie der hochschulinternen Kapazitätsplanung im Speziellen darstellen und deren Veränderungen im Zuge der Reformprozesse des Hochschulsektors der letzten 15 Jahre andererseits die Relevanz hochschulinterner Planungsprozesse begründen. Die anschließend erfolgenden Erläuterungen bestehender Theorien aus den Forschungsfeldern Planung und Prognose verdeutlichen die besondere Bedeutung der prognostischen Fundierung von Planungsprozessen und stellen die Basis für die Explizierung des Prognosebedarfs der im letzten Teil des Kapitels abgegrenzten hochschulinternen Kapazitätsplanung dar.

Auf Basis der Ausführungen des Kapitels 2 erfolgt in Kapitel 3 eine deduktionsgetriebene Analyse des auf die Kapazitätsnachfrage bezogenen Prognosebedarfs der Kapazitätsplanung in Hochschulen. Aus den in Kapitel 2 erläuterten Rahmenbedingungen und zentralen Charakteristika der hochschulinternen Kapazitätsplanung sowie der Planung im Allgemeinen werden für die Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme spezifische Prognosebedarfe abgeleitet. Ferner werden Entscheidungsträger identifiziert, die mit Prognosen auf einzelnen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems zu unterstützen sind.

Kapitel 4 expliziert methodische Grundlagen des Konzepts. Bestehende theoretische Erkenntnisse aus den Forschungsfeldern DSS und CBR werden zunächst allgemein erläutert, um anschließend durch eine kritische Gegenüberstellung der bestehenden Forschungsergebnisse mit den Anforderungen der zu lösenden Problemstellung Entwurfsentscheidungen, Anpassungen sowie Erweiterungen motivieren und begründen zu können.

Das Konzept eines zusammengesetzten DSS zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems wird in Kapitel 5 erläutert. Dazu erfolgt zunächst die Darstellung des Gesamtkonzepts, bevor die einzelnen Komponenten des konzipierten DSS detailliert betrachtet werden. Insbesondere wird auf verschiedene Anpassungen und Erweiterungen des CBR-Paradigmas eingegangen, die im vorherigen Kapitel 4 motiviert wurden. Von besonderem Interesse sind dabei Erweiterungen objektorientierter Repräsentationsformalismen für Fälle sowie Anpassungen und Erweiterungen des von Aamodt & Plaza (1994) vorgestellten CBR-cycle. Eine kurze Darstellung des idealtypischen Zusammenspiels der Komponenten des zusammengesetzten DSS schließt das Kapitel 5 ab.

Kapitel 6 stellt einen zur Realisierung des Konzepts am Beispiel verschiedener Studiengänge der Universität Osnabrück entwickelten Prototyp vor. Nach einer kurzen Erläute-

Die Umsetzung der Entwicklungsumgebung wird die Umsetzung der konzipierten Komponenten eines zusammengesetzten DSS aus einer technischen Perspektive betrachtet.

Kapitel 7 befasst sich mit der Beurteilung der Eignung des Konzepts zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme. Der Fokus dieses Kapitels liegt auf der Untersuchung, ob das Konzept unter realen Bedingungen zur prognostischen Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung geeignet ist. Die Bewertung erfolgt anhand ausgewählter Evaluationsmaße, die auf Basis einer mithilfe des Prototyps durchgeführten Prognosesimulation ermittelt werden. Um die Vorteilhaftigkeit des konzipierten und prototypisch realisierten DSS gegenüber alternativen Prognosemethoden zu demonstrieren, werden mithilfe des Prototyps erstellte Prognosen mit Prognosen verglichen, die auf Basis eines Referenzverfahrens erstellt wurden.

Kapitel 8 fasst die Ergebnisse der Arbeit kritisch zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftiges Forschungspotenzial.

TEIL I

Die zentrale Bedeutung
prognostisch fundierter Kapazitätsplanung
in hochschulinternen Planungssystemen

2 Kapazitätsplanung als Aufgabe des Hochschulmanagements

Dieses Kapitel fokussiert die Darstellung der theoretischen Grundlagen der hochschulinternen Kapazitätsplanung, deren prognostische Fundierung im Zentrum dieser Arbeit steht. Ziel dieser Darstellung ist die Dokumentation der **Relevanz erstens der Planung als Funktion des Hochschulmanagements im Allgemeinen** und zweitens **der in ein hierarchisches, hochschulinternes Planungssystem integrierten Kapazitätsplanung im Speziellen** für einen **effizienten Ressourceneinsatz innerhalb von Hochschulen**. Daneben wird die Grundlage für eine anschließende Deduktion des Prognosebedarfs der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems geschaffen. Zur Erreichung dieser Ziele erfolgen in Kapitel 2.1 zunächst die Identifikation und Beschreibung von Entscheidungsträgern und Aufgaben des Hochschulmanagements vor dem Hintergrund der in den 1990er Jahren initiierten Hochschulreformen und den daraus resultierenden Zielen und Organisationsstrukturen von Hochschulen. Diese Erläuterungen verdeutlichen die gewandelten Rahmenbedingungen und Anforderungen, durch die Planungen innerhalb von Hochschulen notwendig werden. In Kapitel 2.2 wird der Begriff der Planung unter besonderer Berücksichtigung ihrer Fundierung durch verschiedene Arten und Methoden der Prognose diskutiert. Die Darstellungen dieses Kapitels bilden einerseits eine notwendige Grundlage für die in Kapitel 2.3 erfolgende Einordnung der Kapazitätsplanung in hochschulinterne Planungssysteme, andererseits dienen sie der späteren Deduktion des Prognosebedarfs der hochschulinternen Kapazitätsplanung sowie der Beurteilung verschiedener in der Literatur dokumentierter Ansätze zur Befriedigung dieses Bedarfs.

2.1 Hochschulmanagement

2.1.1 Rahmenbedingungen des Hochschulmanagements

2.1.1.1 Effizienz- und wettbewerbsorientierte Hochschulreform

Der spätestens mit der Novellierung des Hochschulrahmengesetzes (HRG) im Jahr 1998 angestoßene Reformprozess des deutschen Hochschulsystems (vgl. Kühler, 2006, S. 178) impliziert grundlegende Rahmenbedingungen der Diskussion des Hochschulmanagements. Induziert wurde dieser auch als „effizienzorientierte Hochschulreform 2000“ (Küpper, 2010, S. 61) bezeichnete Prozess aufgrund systemimmanenter Mängel des deutschen Hochschulsystems sowie aufgrund externer Faktoren, die aus den Anforderungen der nati-

onalen und internationalen Umwelt resultierten (vgl. Kühler, 2006, S. 168 ff.; Küpper, 2010, S. 62).

Zu den **systemimmanenten Mängeln** ist insbesondere die *Inflexibilität* in den Bereichen der Finanzierung, der Hochschulzulassung (vgl. Kühler, 2006, S. 168) sowie des Studiums und der Lehre zu zählen (vgl. Reichwald, 1998, S. 238), die durch massive staatliche Regulierung hervorgerufen wurde (vgl. Kühler, 2006, S. 168; Reichwald, 1998, S. 238). Hierdurch kam es zu Ressourcenverschwendung und Ineffizienzen in den genannten Bereichen (vgl. Kühler, 2006, S. 168). Insbesondere wurde ein an Notwendigkeiten und Zielen orientierter Ressourceneinsatz durch die inputorientierte Kameralistik⁴ im Rahmen der Mittelzuteilung verhindert (vgl. Reichwald, 1998, S. 238). Eine effiziente Führung der Hochschulen war hierdurch unmöglich (vgl. Kühler, 2006, S. 123 f.).

Die *Überlastung des Hochschulsystems* stellte einen weiteren systemimmanenten Mangel dar (vgl. Küpper, 2010, S. 63). Bereits seit 1970 war ein – sich bis heute fortsetzender – Anstieg der Studierendenzahlen mit mehr als einer Verdreifachung der Zahlen zwischen 1970 und 1995 zu verzeichnen (vgl. Statistisches Bundesamt, 2006, S. 120). Die finanzielle Ausstattung der Hochschulen wurde gleichzeitig nur unterproportional erhöht (vgl. Küpper, 2010, S. 63). Das Ergebnis war zum einen eine unzureichende Betreuung der Studierenden (vgl. Reichwald, 1998, S. 238). Im Zusammenspiel mit der Gebührenfreiheit des Studiums sowie den vorherrschenden Ineffizienzen kam es zum anderen zu hohen Kosten im tertiären Bildungssektor (vgl. Kühler, 2006, S. 168) und aufgrund der in der Hauptsache staatlichen Finanzierung desselben (vgl. Blümel, Kloke, & Krücken, 2011, S. 105) zu hohen Kosten für die Gesellschaft.

Die *zunehmende Globalisierung* als wichtigster **externer Einflussfaktor** des Reformprozesses führte zeitgleich mit den sich manifestierenden systemimmanenten Mängeln zu einem verstärkten internationalen Wettbewerb zwischen Hochschulen (vgl. Kühler, 2006, S. 173; Küpper, 2010, S. 62 f.). Die Konkurrenzsituation hinsichtlich der Attraktivität für Studierende, Wissenschaftler und (Finanz-) Mittelgeber (vgl. Alt & Auth, 2010, S. 185) erhöhte den Anpassungs- und Modernisierungsdruck auf das gesamte Hochschulsystem (vgl. Kühler, 2006, S. 173). Hochschulen sahen sich vermehrt gezwungen, als ihre eigenen

⁴ Die Kameralistik dient als Standardrechnung staatlicher Institutionen dazu, Massenzahlungsvorgänge zu erfassen und zu kontrollieren. Die Sicherung der Ordnungsmäßigkeit von Einnahmen und Ausgaben steht im Mittelpunkt. Ein wichtiger Kritikpunkt ist die sogenannte Fortschreibungsbudgetierung – das Budget eines Haushaltsjahres richtet sich weitgehend nach den Werten eines Vorjahres, die Übertragung von Budgettiteln in Folgejahre ist stark eingeschränkt. (Küpper & Tropp, 2004, S. 86 ff.)

Interessen vertretende Akteure aufzutreten und strategisch zu handeln (vgl. Winter, 2011, S. 2). Gehemmt wurde die Durchsetzung strategischer Entscheidungen allerdings durch die oben erwähnte starke Regulierung des Hochschulwesens.

Zu den externen Faktoren können darüber hinaus die sich *wandelnden Anforderungen der Gesellschaft* an die Hochschulen gezählt werden. Verlangt wurde in zunehmendem Maße die Steigerung der Effizienz zum bestmöglichen Einsatz der durch den Staat bereitgestellten Sach- und Finanzressourcen (vgl. Küpper, 2010, S. 65), bzw. eine Senkung der von der Öffentlichkeit als zu hoch empfundenen Kosten des tertiären Bildungssystems. Ferner wurde die Forderung nach international konkurrenzfähigen Studiengängen und damit nach auf einem globalen Arbeitsmarkt konkurrenzfähigen Absolventen gestellt (vgl. Küpper, 2010, S. 65). Gleichzeitig sollten auch Forschungsleistungen internationale Anerkennung erfahren (vgl. Küpper, 2010, S. 65).

Als Reaktion auf die internen Missstände und die gestiegenen externen Anforderungen wurde im Zuge der Hochschulreform eine Reihe von Einzelmaßnahmen angestoßen, die das deutsche Hochschulsystem bis heute nachhaltig prägen. Im Mittelpunkt stand dabei der *Einsatz betriebswirtschaftlicher Instrumente zur Effizienzsteigerung* (vgl. Küpper, 2010, S. 86). Durch die Summe der Maßnahmen sollte eine *Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit* erfolgen, der *Wettbewerb der Institutionen* ermöglicht bzw. verstärkt werden und die Steuerungssysteme der Hochschulen sollten eine *Dezentralisierung* erfahren (vgl. Küpper, 2010, S. 65). Eine Zusammenfassung der Einzelmaßnahmen führt zur Identifikation von drei der Erreichung der Reformziele dienenden Maßnahmenblöcken (vgl. Heinrichs, 2010, S. 52):

- Reformen der Hochschulstrukturen und des Hochschulrechts,
- Umsetzung der Bologna-Beschlüsse und
- Qualitätssteuerung in Studium und Lehre durch externe Evaluation und Akkreditierung.

Die **Reformen der Hochschulstrukturen und des Hochschulrechts** umfassten mehrere Novellen des HRG, die in die im Folgenden erläuterten Themenbereiche Leistungsorientierung und Deregulierung zu gliedern sind (vgl. Kühler, 2006, S. 179).

Das Erfordernis der **Leistungsorientierung in Forschung und Lehre** manifestiert sich durch das Vierte Gesetz zur Änderung des HRG (4. HRGÄndG) aus dem Jahr 1998, mit dem u. a. eine an den erbrachten Leistungen orientierte Hochschulfinanzierung sowie die Pflicht zur Evaluation von Forschung und Lehre eingeführt wurden (vgl. Kühler, 2006,

S. 184). Ferner hat das Fünfte Gesetz zur Änderung des HRG (5. HRGÄndG) aus dem Jahr 2002 eine Reform der Professorenbesoldung eingeleitet, durch die Leistungsbezüge für Professoren nicht nur aufgrund von Berufungs- und Bleibeverhandlungen, sondern auch aufgrund von besonderen Leistungen in Forschung und Lehre oder in der Hochschulsebstverwaltung und Hochschulleitung vergeben werden können (vgl. Kühler, 2006, S. 184). Im Ergebnis der diesem Themenbereich zugeordneten Reformen finden sich Hochschulen konfrontiert mit einer *Abkehr von der input- zur outputorientierten Steuerung* (vgl. Bayer, 2007, S. 109) sowohl im Verhältnis zwischen Hochschulträgern und einzelnen Hochschulen als auch im Verhältnis einzelner Organisationseinheiten einer Hochschule zueinander (vgl. Gelhoet, 2009, S. 1). Sie stehen damit in einem verstärkten *Wettbewerb um knappe Mittel* (vgl. Schröder, 2004, S. 30 ff.). Im Zuge der outputorientierten Steuerung weisen Bundesländer den Hochschulen Finanzmittel verstärkt in Form von sogenannten *Globalhaushalten* zu, die eine flexible Mittelverwendung in den Hochschulen durch Zuweisung von Pauschalsummen erlauben (Hödl, 1996, S. 418; Nickel, 2007, S. 124 f.). Zur Mittelzuweisung und -verteilung sowohl innerhalb von Hochschulen als auch im Verhältnis zwischen Hochschule und Bundesländern finden sogenannte *Zielvereinbarungen* Anwendung, d. h. die Höhe zugewiesener Mittel richtet sich zunehmend nach vereinbarten oder bereits erzielten Leistungen (vgl. Nickel, 2007, S. 124 f.; Schröder, 2004, S. 30 f.). Zielvereinbarungen können z. B. die Einrichtung von Studien- oder Forschungsschwerpunkten oder das Vorhalten von Studienkapazitäten in einzelnen Fächern innerhalb eines bestimmten Zeitraums durch einen Mittelempfänger enthalten (vgl. Schröder, 2004, S. 30 f.). An die Erreichung der vereinbarten Ziele wird die Vergabe von Mitteln vom Mittelgeber an den Mittelempfänger geknüpft, wobei eine der Zielerreichung vorausgehende Vergabe der Mittel erfolgt (vgl. Schröder, 2004, S. 30). Angestrebt wird mit der verstärkten Leistungsorientierung eine *effiziente Mittelverteilung bzw. -verwendung* (vgl. Schröder, 2004, S. 40) und eine *an Zielen ausgerichtete Steuerung der Hochschulen* (vgl. Schröder, 2004, S. 31 f.).

Ermöglicht wurde Letzteres erst durch die dem Themenbereich der **Deregulierung** zugeordneten Maßnahmen, die sich ebenfalls in Änderungen des HRG niederschlugen. Durch das 4. HRGÄndG erfolgte eine Stärkung des Handlungsspielraums der Bundesländer bezüglich der strukturellen und verfassungsmäßigen Ausgestaltung der Hochschulen (vgl. Kühler, 2006, S. 182). Hierdurch besteht beispielsweise die Möglichkeit, neue Leitungsstrukturen an Hochschulen einzuführen oder diese in neue Rechtsformen wie die einer Stiftung zu überführen (vgl. Kühler, 2006, S. 182 f.). Geschaffen wurden damit auch die Voraussetzungen zur *Differenzierung im Hochschulsystem*, in deren Folge es zu einer ver-

stärkten *Profilbildung* einzelner Institutionen kommt, die in Kombination mit der oben skizzierten Leistungsorientierung der Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit dient (vgl. Hödl & Zegelin, 1999, S. 348 f.). Insgesamt lässt sich aufgrund der Stärkung des Handlungsspielraums der Bundesländer ein höheres Maß an *Autonomie* einzelner Hochschulen feststellen (vgl. Turner, 2001, S. 224 ff.).

Weitere Maßnahmen zur Deregulierung betrafen vor allem den Bereich Studium und Lehre und stellen eine Verbindung der übergeordneten Maßnahmenblöcke der Reformen der Hochschulstrukturen und des Hochschulrechts auf der einen und der Umsetzung der Bologna-Beschlüsse auf der anderen Seite dar. So sollten durch die Einführung eines Leistungspunktesystems durch das 4. HRGÄndG die Mobilität der Studierenden gefördert werden und eine Neustrukturierung des Studiums durch Modularisierung erfolgen (vgl. Kühler, 2006, S. 180). Der Rückzug des Staates aus dem Bereich der Hochschulabschlüsse durch den Verzicht auf staatliche Rahmenprüfungsordnungen (vgl. Kühler, 2006, S. 180) mit dem Ziel der Steigerung der Autonomie der Hochschulen sowie der Möglichkeit zur *Differenzierung der Studiengänge* (vgl. Küpper, 2010, S. 68) wurde durch dieses Gesetz ebenfalls eingeleitet. Differenzierungsmöglichkeiten wurden darüber hinaus geschaffen durch das Siebte Gesetz zur Änderung des HRG (7. HRGÄndG), das den Hochschulen *Mitwirkungsmöglichkeiten bei der Studienplatzvergabe* zusicherte (vgl. Kühler, 2006, S. 183).

Den größten Einfluss auf das Studiensystem übt bis heute die Umstellung auf Bachelor- und Masterstudiengänge aus, die durch das 4. HRGÄndG ermöglicht wurde (vgl. Kühler, 2006, S. 180). Das Sechste Gesetz zur Änderung des HRG (6. HRGÄndG) aus dem Jahr 2002 führte Bachelor- und Masterabschlüsse als Regelabschlüsse ein (vgl. Kühler, 2006, S. 180). Hierdurch wird eine *zusätzliche Differenzierung der Studiengänge* zur Positionierung im Wettbewerb ermöglicht und gleichzeitig das Ziel einer Stärkung der *internationalen Ausrichtung und Wettbewerbsfähigkeit* verfolgt (vgl. Kühler, 2006, S. 180; Küpper, 2010, S. 68 f.). Im Kern betrifft dieser Teil der Reformen den Maßnahmenblock der **Umsetzung der Bologna-Beschlüsse** zur Etablierung eines einheitlichen, in die Studienabschnitte Bachelor und Master gestuften Studiensystems in ganz Europa (vgl. Heinrichs, 2010, S. 57). Durch die Umstellung der Studiengänge auf das neue System erschließt sich ein großes Potenzial zur *Verbesserung der Qualität und Praxisorientierung der Lehre* (vgl. Petzina, 2005, S. 33). Die Einführung der gestuften, modularen und auf Leistungspunkten basierenden Studiengänge geht allerdings auch einher mit einer *Komplexitätssteigerung*

bezüglich der Studiengangsplanung (vgl. Kühl, 2012, S. 13 ff.). Die Ursache hierfür liegt in einer (auch für spezialisierte Studienberater) unüberschaubaren Menge an (teilweise eingeschränkten) Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Module, die in verschiedenen Studiengängen verwendet werden können (vgl. Kühl, 2012, S. 16). Es kommt insgesamt zu einem *erhöhten Koordinationsaufwand* bezüglich neuer Studienprogramme und Module (vgl. Petzina, 2005, S. 33) sowie einem *erhöhten Betreuungsaufwand* in den neu eingeführten Studiengängen (vgl. Petzina, 2005, S. 35).

In der Synthese der Maßnahmen zur Deregulierung, insbesondere der oben angeführten Möglichkeit zur Profilbildung, sowie der Umsetzung der Bologna-Beschlüsse stehen Hochschulen vor der Aufgabe, ein *an der Nachfrage orientiertes, wettbewerbsfähiges Angebot an Ausbildung und Betreuung* zu erstellen (vgl. Rieger u. a., 2009, S. 253).

Mit der Umstellung des Studiensystems einher geht die **Einführung neuer Methoden zur Qualitätssicherung**, die sich schwerpunktmäßig auf Evaluation und Akkreditierung stützen (vgl. Kühler, 2006, S. 180) und dem dritten übergeordneten Maßnahmenblock zugeordnet werden können. Die Verfahren der Evaluation und Akkreditierung dienen jeweils einer Beurteilung von Studiengängen (vgl. Petzina, 2005, S. 24). Dabei zielt die Akkreditierung auf die *ex-ante* Beurteilung (neuer) Studienprogramme u. a. zur Gewährleistung einer Gleichwertigkeit, während die Evaluation eine *ex-post* Beurteilung darstellt (vgl. Petzina, 2005, S. 24 f.). Zwar gehen von diesem neuen Qualitätssicherungssystem weitreichende Chancen zur *Qualitätsverbesserung* aus, allerdings sind mit Akkreditierungs- und Evaluationsprozessen auch *hohe zeitliche und monetäre Belastungen* für die Hochschulen verbunden (vgl. Petzina, 2005, S. 30), denen aufgrund der Deregulierung und des Zugewinns an Autonomie verstärkt die *Pflicht zu Transparenz und Rechenschaftslegung* gegenüber Gesellschaft und Staat obliegt (vgl. Petzina, 2005, S. 33 f.).

Die skizzierten Reformen prägen das Hochschulsystem nachhaltig. Ein *Zuwachs an Aufgaben, Verantwortlichkeiten und Kompetenzen* (vgl. Kleimann, 2011, S. 220) für das Hochschulmanagement besteht insbesondere aufgrund:

- der Stärkung der Autonomie einzelner Hochschulen durch Deregulierung und der damit einhergehenden Möglichkeit zur Profilbildung,
- der Einführung der Leistungsorientierung und der damit verbundenen Notwendigkeit einer Etablierung geeigneter Anreizsysteme,

- der Umsetzung der Bologna-Beschlüsse mit dem Ergebnis einer erhöhten Komplexität und eines erhöhten Koordinations- und Betreuungsaufwands im Bereich Studium und Lehre und
- der mit der Umsetzung der Bologna-Beschlüsse einhergehenden Pflicht zur Transparenz und Rechenschaftslegung z. B. in Form von Akkreditierungsberichten.

Zusammenfassend steht das Hochschulmanagement Handlungs- und Entscheidungssituationen gegenüber, die denen von Unternehmen im globalen Wettbewerb ähneln (vgl. Rieger u. a., 2009, S. 523). Als Reaktion ist ein Wandel der Organisationsformen von Hochschulen sowie ihrer Leitungs- und Personalstrukturen im Sinne einer *Professionalisierung des Hochschulmanagements* erkennbar (vgl. Kleimann, 2011, S. 202 ff.). Um Entscheidungsträger im Hochschulmanagement zur Erfüllung der neuen Aufgaben und Verantwortlichkeiten zu befähigen und somit das Bestehen einzelner Institutionen im internationalen Wettbewerb zu sichern, müssen geeignete (*betriebswirtschaftliche*) *Steuerungsinstrumente* eingesetzt werden (vgl. Küpper, 2010, S. 62/72 f.). Dabei gewinnt das Instrument der *Planung* zunehmend an Bedeutung (vgl. Küpper, 2010, S. 75). Da die Definition von Zielen eine Voraussetzung der Planung darstellt (vgl. Heinen, 1976a, S. 148), sind Ziele von Hochschulen insbesondere vor dem Hintergrund der effizienzorientierten Hochschulreform als eine wesentliche Rahmenbedingung des Hochschulmanagements zu betrachten und werden daher im Folgenden erläutert.

2.1.1.2 Ziele und Zielsystem von Hochschulen

Ein **Ziel** stellt allgemein einen als erstrebenswert erachteten, zukünftigen Zustand dar (vgl. Heinen, 1976b, S. 45). Die Auswahl von Alternativen im Rahmen betrieblicher Entscheidungs- und Planungsprozesse (vgl. Kapitel 2.2.1.3) orientiert sich an – in der Regel mehreren – Zielen, denen die *Funktion eines Entscheidungskriteriums* zukommt (vgl. Macharzina & Wolf, 2012, S. 215). Alternativen können dabei anhand ihres Zielbeitrags beurteilt und geordnet werden. Ziele besitzen somit eine *Handlungs- und Orientierungsfunktion*, durch die menschliches Handeln gesteuert werden kann (vgl. Macharzina & Wolf, 2012, S. 215). Voraussetzung ist hierzu allerdings die Operationalisierung der Ziele (vgl. Macharzina & Wolf, 2012, S. 215). Das heißt, es muss eine Präzisierung der Ziele hinsichtlich ihres Inhalts, ihres angestrebten Ausmaßes und ihres zeitlichen Bezugs soweit erfolgen, dass eine objektive Überprüfung der Zielerreichung z. B. anhand einer Messvorschrift erfolgen kann (vgl. Heinen, 1976b, S. 45/115 f.).

Die geordnete Gesamtheit der Ziele einer Organisation⁵ bildet ein **Zielsystem** (vgl. Heinen, 1976b, S. 89 f.; Macharzina & Wolf, 2012, S. 216). In der Hauptsache erfolgt eine Ordnung nach dem Rang der Ziele, d. h. ihrem Stellenwert gegenüber anderen Zielen in *Haupt- und Nebenziele* (vgl. Macharzina & Wolf, 2012, S. 217) sowie eine Differenzierung in *Sach- und Formalziele* (vgl. Tauberger, 2008, S. 34). Sachziele sind bezogen auf Art und Menge in einem Markt abzusetzender Produkte sowie den Zeitpunkt des Absatzes, während Formalziele die Wirtschaftlichkeit, insbesondere die Rentabilität betreffen (vgl. Kosiol, 1968, S. 261). Bei der Ordnung von Zielen wird ferner abgestellt auf deren jeweilige Beziehungen zueinander, wobei unterschieden wird zwischen *komplementären, konkurrierenden und indifferenten Zielen* (vgl. Heinen, 1976b, S. 94).

Auch wenn sich Hochschulen – wie im vorangehenden Abschnitt gezeigt wurde – durch die Reformen der letzten 15 Jahre verstärkt in einem Umfeld bewegen, das dem privatwirtschaftlicher Unternehmen im globalen Wettbewerb ähnelt, unterscheiden sich die Ziele beider Gruppen von Organisationen (vgl. Postert, 2001, S. 29) und damit auch ihre Zielsysteme. Im Gegensatz zu privatwirtschaftlichen Unternehmen, die ihr Zielsystem hauptsächlich an ökonomischen Kriterien ausrichten, ist das Zielsystem von Hochschulen geprägt durch **exogen vorgegebene**, im HRG und in den jeweiligen Hochschulgesetzen einzelner Bundesländer verankerte Aufgaben (vgl. Kohmann, 2012, S. 65/76 f.), aus denen sich implizit gesellschaftspolitische Ziele der Hochschulen bestimmen (vgl. Gelhoet, 2009, S. 16 f.). Im Kern sind die beiden **Hauptziele** der Vorbereitung der Studierenden auf berufliche Tätigkeiten sowie auf die Teilhabe am gesellschaftlichen Leben durch *Studium und Lehre* und der Gewinnung wissenschaftlicher Erkenntnisse durch *Forschung* abzuleiten (vgl. Kohmann, 2012, S. 77). Ferner resultieren als **Nebenziele** die Erbringung von *Dienstleistungen* für Mitarbeiter, Studierende und die Gesellschaft (vgl. Kohmann, 2012, S. 77). Eine inhaltliche Konkretisierung dieser exogenen Ziele erfolgt nicht (vgl. Kohmann, 2012, S. 78 f.). Vielmehr sind diese geprägt durch einen Leerformelcharakter und damit einen Mangel an Operationalisierbarkeit (vgl. Strack, 1998, S. 98), so dass eine Handlungs- und Orientierungsfunktion von ihnen allenfalls eingeschränkt ausgehen kann.

Daneben besteht durch die hinzugewonnene Autonomie der Hochschulen die Möglichkeit zu einer verstärkten Verfolgung **endogener**, d. h. durch die Hochschule selbst sowie durch zwischen Hochschule und Staat im Rahmen von Zielvereinbarungen festgelegter Ziele. Die

⁵ „**Organisation** ist ein von der Unternehmung geschaffenes System von Regeln, um gemeinsame Ziele zu verfolgen, in welcher Ordnung aber auch von selbst entstehen kann.“ (Bea & Göbel, 2010, S. 7).

Festlegung endogener Ziele ermöglicht die Verbesserung hochschulinterner Zustände (vgl. Gelhoet, 2009, S. 16) sowie die Profilbildung, d. h. die Abgrenzung gegenüber anderen Hochschulen (vgl. Hubig, 2009, S. 83). Sie findet auf den Ebenen einzelner Hochschulen, Fachbereiche, Fächer, fachlicher Teilgebiete oder einzelner Projekte statt (vgl. Bolsenkötter, 1976, S. 47). Bei der Zielfestlegung kommt der Interessensgruppe der Hochschullehrer aufgrund ihrer verfassungsrechtlich geschützten Mitbestimmungsrechte eine besondere Bedeutung zu (Kohmann, 2012, S. 79). Somit erscheint die Annahme gerechtfertigt, dass die Ziele einer Hochschule im Wesentlichen mit den Zielen der Hochschullehrer übereinstimmen und insgesamt auf die Erreichung einer *maximalen Hochschulreputation* ausgerichtet sind, wobei sich die Reputation bestimmt durch die Anerkennung der Forschung, die Qualität der Lehre und der Dienstleistungen sowie durch das öffentliche Meinungsbild (vgl. Gelhoet, 2009, S. 18 f.). Der Schwerpunkt bei der Festlegung endogener Ziele liegt somit auf der Konkretisierung und Erweiterung der exogen vorgegebenen Haupt- und Nebenziele, die zusammen die Sachziele einer Hochschule bilden. Hier zeigt sich ein weiterer wichtiger Unterschied zwischen Zielsystemen privatwirtschaftlicher Unternehmen und denen von Hochschulen, nämlich die *Dominanz von Sachzielen* im Vergleich zu Formalzielen in Hochschulen (vgl. Bolsenkötter, 1976, S. 45; Kohmann, 2012, S. 77 f.; Tauberger, 2008, S. 35). Allerdings ist vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.1.1.1 erläuterten Reformen, insbesondere der verstärkten Outputorientierung im Bereich der Ressourcenverteilung, mit einer stärkeren Orientierung auch an Formalzielen zu rechnen (vgl. Tauberger, 2008, S. 35). Dabei rückt insbesondere die Ausrichtung der Aufgabenerfüllung an Kriterien der *Effizienz, Qualität und Rechtmäßigkeit* als Formalziel in den Vordergrund (vgl. Hödl & Zegelin, 1999, S. 289).

Als problematisch erweist sich im Hochschulbereich die Messung und Bewertung der Zielerreichung (vgl. Hubig, 2009, S. 105; Kohmann, 2012, S. 84) und folglich die **Operationalisierung der Ziele**. Aufgrund fehlender Marktpreise ist eine Orientierung an den Größen Gewinn oder Rentabilität im Hochschulsektor nicht möglich, eine monetäre Bewertung von Leistungen scheidet somit aus (vgl. Hödl & Zegelin, 1999, S. 289). Eine Alternative zur Leistungsmessung besteht im Einsatz von *Indikatorsystemen*, in denen die Leistungserstellung in Lehre, Forschung, Dienstleistung und Selbstverwaltung durch Indikatoren wie z. B. die kapazitative Leistungsanspruchnahme, die Zahl der Publikationen, die Zahl der durchgeführten Beratungen oder die Anzahl der zu planenden Vorlesungsstunden erfasst wird (vgl. Hödl & Zegelin, 1999, S. 289 ff.). Solche Indikatorsysteme

kommen z. B. zur Leistungsmessung im Rahmen der in Kapitel 2.1.1.1 diskutierten Zielvereinbarungen zum Einsatz (vgl. Ederleh, 2003, S. 150).

Zielsysteme von Hochschulen sind zusammenfassend als *pluralistisch* zu bezeichnen, da sie vielfältige sowohl endogene als auch exogene Ziele umfassen (vgl. Hödl & Zegelin, 1999, S. 289). Aufgrund der Zielfestlegung auf unterschiedlichen hochschulinternen sowie -externen Ebenen kann von einer Vielzahl miteinander konkurrierender Ziele ausgegangen werden (vgl. Bolsenkötter, 1976, S. 47). Die Auflösung von Zielkonflikten bedingt eine Bewertung von Leistungen im Hinblick auf eine ausgewogene Zielerreichung und damit eine Operationalisierung der Ziele (vgl. Bolsenkötter, 1976, S. 47). Hierzu bietet sich der Einsatz der bereits diskutierten Indikatorsysteme an. Die mithilfe von Indikatorsystemen gewonnenen Informationen dienen ferner als Grundlage der im Hochschulbereich zunehmend an Bedeutung gewinnenden Planung (vgl. Bolsenkötter, 1976, S. 275 f.). Sie unterstützen zusätzlich die im Rahmen der in Kapitel 2.1.1.1 diskutierten Reformen eingeführte Leistungsorientierung und können zur Erfüllung der Pflicht zu Transparenz genutzt werden (vgl. Bolsenkötter, 1976, S. 276). Sowohl das Zielsystem einer Hochschule als auch Indikatorsysteme zur Operationalisierung der darin geordneten Ziele schaffen folglich Rahmenbedingungen, an denen sich das Hochschulmanagement orientieren kann und messen lassen muss. Die Formulierung von Zielen, deren Ordnung in einem Zielsystem und insbesondere die Implementierung geeigneter Indikatorsysteme zur Operationalisierung der Ziele stellen selbst aber auch eine zentrale Aufgabe auf verschiedenen Ebenen des Hochschulmanagements dar.

2.1.1.3 Organisationsstrukturen von Hochschulen

Die Rahmenbedingungen des Hochschulmanagements umfassen neben den Zielen und den durch Reformen induzierten Veränderungen des Hochschulsystems auch die Organisationsstruktur⁶ der Hochschulen. Aus ihr ergeben sich Besonderheiten, Spannungsfelder und Dilemmata für das Management (vgl. Froese, 2012, S. 64/68).

In der Literatur dominieren organisationstheoretische Einordnungen von Hochschulen als „organisierte Anarchien“ (Cohen, March, & Olsen, 1972), „lose gekoppelte Systeme“

⁶ Nach Schulte-Zurhausen (2010) ist die Organisationsstruktur ein System formaler, dauerhafter Regeln, das das Verhalten der Organisationsmitglieder auf gemeinsame Ziele ausrichten soll. Sie schränkt den Handlungsspielraum einzelner Organisationsmitglieder durch Handlungsvorschriften ein. (vgl. Schulte-Zurhausen, 2010, S. 2 f.).

(Weick, 1976) und „professionelle Bürokratien“⁷ (Mintzberg, 1983, S. 189). Allerdings stehen diese Theorien aufgrund ihrer fehlenden Ausrichtung auf die Effizienzbewertung von Organisationsstrukturen (vgl. Froese, 2012, S. 4) im Rahmen der Diskussion der Auswirkungen der in Kapitel 2.1.1.1 erläuterten Reformen zunehmend in der Kritik. Sie werden zum Teil durch neue Theorien, z. B. die der Hochschule als „Akteur“ (Meier, 2009) oder die der Hochschule als „unvollständige Organisation“ (Brunsson & Sahlin-Andersson, 2000) erweitert (vgl. Kehm, 2012, S. 18 ff.). Einige dieser neueren Theorien spiegeln jedoch entweder (noch) nicht das aktuelle Selbstbild der Hochschulen wider (vgl. Meier, 2009, S. 243) oder es mangelt ihnen an empirischer Untermauerung (vgl. Kehm, 2012, S. 19). Das Ziel dieses Kapitels besteht darin, grundsätzliche Besonderheiten der Organisationsstruktur von Hochschulen als Rahmenbedingungen des Hochschulmanagements aufzuzeigen und eine Ableitung von Ebenen und Aufgaben des Hochschulmanagements durch Deduktion aus den Rahmenbedingungen zu unterstützen. Zu diesem Zweck erfolgt die Diskussion der Organisationsstruktur von Hochschulen basierend auf der Theorie von Mintzberg. Sie ist zur Konzeptionalisierung der Organisationsgestaltung von Hochschulen geeignet (vgl. Froese, 2012, S. 4) und kann durch Überlagerung der enthaltenen Strukturelemente (vgl. Mintzberg, 1983, S. 19 ff.) zur Darstellung der organisatorischen Einbettung verschiedener Rollen, Aufgaben und Funktionen von Organisationsmitgliedern herangezogen werden (vgl. z. B. Goeken & Burmester, 2004, S. 140; Hubig, 2009, S. 41). Die durch die diskutierten Reformen zu erwartenden Veränderungen gegenüber den ursprünglichen Ausführungen von Mintzberg fließen an geeigneten Stellen in die Diskussion ein.

Ursprünglich definierte Mintzberg verschiedene Organisationstypen als Konfigurationen der fünf Strukturelemente „Operativer Kern“, „Mittleres Linienmanagement“, „Unterstützende Einheiten“, „Technostruktur“ und „Strategische Spitze“ (vgl. Mintzberg, 1983, S. 9 ff.). Später ergänzte er das sechste Strukturelement „Ideologie“ (vgl. Mintzberg, 1991, S. 109 f.). Der operative Kern stellt die Basis jeder Organisation dar, hier findet die Produktion von Gütern oder die Erbringung von Dienstleistungen statt (vgl. Mintzberg, 1983, S. 12). Von der strategischen Spitze wird das Gesamtsystem überblickt (vgl. Mintzberg, 1991, S. 109), die Sicherstellung einer effektiven Erfüllung der Mission der Organisation steht hier im Vordergrund (vgl. Mintzberg, 1983, S. 13). Das mittlere Linienmanagement stellt die hierarchische Verbindung zwischen strategischer Spitze und operativem Kern dar

⁷ Hier erfolgt eine wörtliche Übersetzung des von Mintzberg verwendeten Ausdrucks „*Professional Bureaucracy*“ (vgl. Mintzberg, 1983, S. 189).

(vgl. Mintzberg, 1983, S. 14). Hier findet die Strategieformulierung für einzelne Geschäftseinheiten und die Koordination mit Mitgliedern anderer Strukturelemente der Organisation statt (vgl. Mintzberg, 1983, S. 15). Die unterstützenden Einheiten versorgen die Organisation mit spezifischen Dienstleistungen außerhalb der eigentlichen Leistungserstellung (vgl. Mintzberg, 1983, S. 16 f.) und die Technostruktur übernimmt die formale Planung der Leistungserstellung (vgl. Mintzberg, 1991, S. 110). Schließlich umfasst die Ideologie Überzeugungen und Traditionen, durch die sich eine Organisation von anderen unterscheiden lässt (Mintzberg, 1991, S. 110). Aus den sechs skizzierten Strukturelementen ergibt sich der in Abbildung 2-1 dargestellte, grundsätzliche Aufbau einer Organisation.

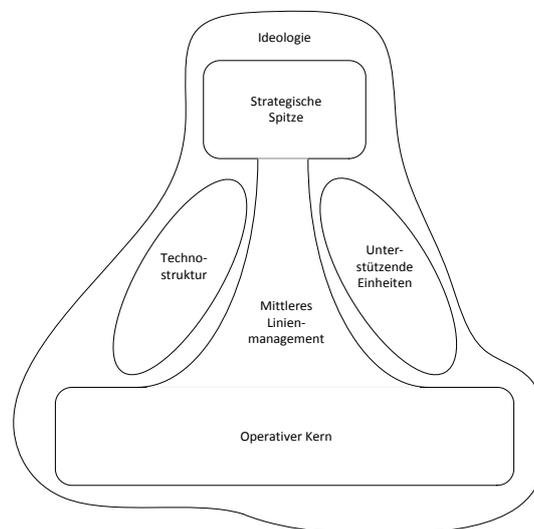


Abbildung 2-1: Strukturelemente einer Organisation

Quelle: (Mintzberg, 1991, S. 110)

Je nach primär eingesetztem internen Koordinationsmechanismus und in Abhängigkeit von Kontingenzfaktoren wie Alter der Organisation oder Dynamik der Organisationsumwelt sind die Strukturelemente unterschiedlich stark ausgeprägt, die Organisation entscheidet sich für eine spezielle Konfiguration (vgl. Mintzberg, 1991, S. 112 ff.). Mintzberg (1983) unterscheidet insgesamt fünf spezielle Konfigurationen bzw. Organisationstypen, die einfache Struktur (Simple Structure), die industrielle Bürokratie (Machine Bureaucracy), die professionelle Bürokratie (Professional Bureaucracy), die Divisionalisierung (Divisionalized Form) und die Adhokratie (Adhocracy) (vgl. Mintzberg, 1983, S. 153).

Die Organisation von Hochschulen folgt in der Regel der Konfiguration einer professionellen Bürokratie (vgl. Mintzberg, 1983, S. 189). Das wichtigste Strukturelement der Organisation Hochschule ist der operative Kern (vgl. Mintzberg, 1983, S. 194). Er besteht aus

sehr gut ausgebildeten Spezialisten, die mit einem hohen Maß an Autonomie ausgestattet sind und relativ unabhängig von ihren Kollegen arbeiten können (vgl. Mintzberg, 1983, S. 190). Daneben ist das Element der unterstützenden Einheiten voll ausgebildet und darauf ausgerichtet, die Spezialisten des operativen Kerns mit Dienstleistungen zu versorgen (vgl. Mintzberg, 1983, S. 194). Die Technostruktur und das mittlere Linienmanagement sind in der professionellen Bürokratie nur schwach ausgeprägt, was durch eine fehlende Notwendigkeit und Möglichkeit zur Planung und Standardisierung von Arbeitsabläufen durch nicht dem operativen Kern angehörige Organisationsmitglieder begründet wird (vgl. Mintzberg, 1983, S. 194). Die strategische Spitze ist im Vergleich zu anderen Konfigurationen schwach ausgeprägt (vgl. Mintzberg, 1983, S. 194 f.). Zu begründen ist dies u. a. durch starke Einschränkungen der Möglichkeiten zur Motivierung und Sanktionierung der Mitglieder des operativen Kerns seitens der strategischen Spitze (vgl. Froese, 2012, S. 67). Vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.1.1.1 diskutierten Reformen, insbesondere der zunehmenden Bedeutung von Planung und Leistungsorientierung, ist allerdings mit einem Ausbau von Technostruktur, mittlerem Linienmanagement und ggf. auch strategischer Spitze zu rechnen. So vertreten z. B. Blümel, Kloke & Krücken (2011) die These, es komme zu einem Ausbau administrativer Strukturen an deutschen Hochschulen (vgl. Blümel u. a., 2011, S. 106). Einen deutlichen Zuwachs an nicht-wissenschaftlichem Personal können die Autoren allerdings (noch) nicht bestätigen (vgl. Blümel u. a., 2011, S. 106). Der organisatorische Aufbau von Hochschulen als professionelle Bürokratie wird in Abbildung 2-2 unter Berücksichtigung der skizzierten Veränderungen im Bereich des mittleren Linienmanagements und der Technostruktur, symbolisiert durch unterbrochene Linien, zusammengefasst.

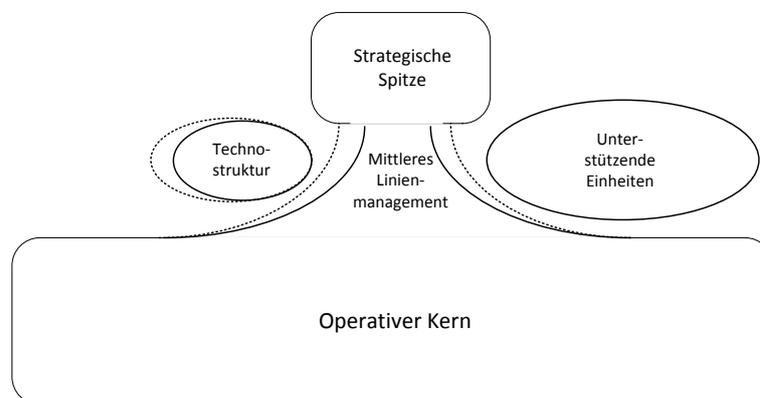


Abbildung 2-2: Professionelle Bürokratie

Quelle: In Anlehnung an (Mintzberg, 1983, S. 194)

Insgesamt weist eine professionelle Bürokratie – und damit eine Hochschule – definitionsgemäß ein hohes Maß an Dezentralität auf (vgl. Froese, 2012, S. 65). Ferner existieren in den einzelnen Strukturelementen der Organisation zum Teil widersprüchliche Rationalitäten und Koordinationsmechanismen (vgl. Froese, 2012, S. 68), die zum einen zu begründen sind durch die Dezentralität der Organisation, zum anderen durch das in Kapitel 2.1.1.2 erläuterte pluralistische Zielsystem (vgl. Froese, 2012, S. 70).

Eine Zuordnung einzelner Organisationseinheiten zu den Strukturelementen ist durch die in Abbildung 2-3 dargestellte Überlagerung des Modells der professionellen Bürokratie mit einem exemplarischen Organigramm einer Hochschule möglich.

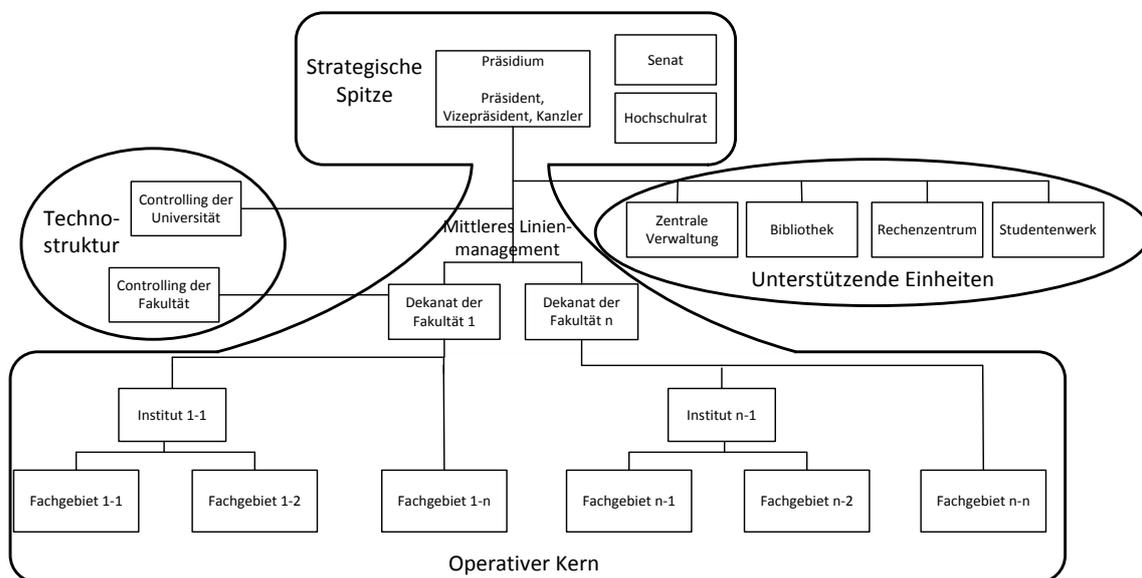


Abbildung 2-3: Organisationseinheiten der professionellen Bürokratie Hochschule

Quelle: In Anlehnung an (Goeken & Burmester, 2004, S. 140)

Das Präsidium, d. h. ein Präsident oder ein Präsident mit nebengeordneten Vizepräsidenten, bildet zusammen mit den zentralen Gremien Senat und Hochschulrat die strategische Spitze einer Hochschule (vgl. Goeken & Burmester, 2004, S. 140; Postert, 2001, S. 90). Zentrale Dienstleistungen werden z. B. durch die unterstützenden Einheiten Bibliothek oder Rechenzentrum bereitgestellt, ferner übernimmt die zentrale Verwaltung zentrale administrative Tätigkeiten (vgl. Goeken & Burmester, 2004, S. 140). Als Mitglieder der unterstützenden Einheiten sind z. B. Dezernatsleitungen und -mitarbeiter, Rechenzentrumsmitarbeiter oder Bibliothekare zu nennen (vgl. Postert, 2001, S. 90). Die Dekanate und Selbstverwaltungsgremien einzelner Fakultäten bilden das mittlere Linienmanagement (vgl. Goeken & Burmester, 2004, S. 140). Mitglieder dieser Organisationseinheiten sind z. B. Dekane, Studiendekane oder Studiengangkoordinatoren. Der operative Kern umfasst

die den Dekanaten untergeordneten Einheiten, z. B. Institute und Fachgebiete eines Fachbereichs⁸ (vgl. Goeken & Burmester, 2004, S. 140) und die dort tätigen Professoren, wissenschaftlichen Mitarbeiter oder Institutsvorstände (vgl. Postert, 2001, S. 90). Das Controlling einer Hochschule bildet schließlich die Technostruktur (vgl. Goeken & Burmester, 2004, S. 140).

In der Synthese der erläuterten Rahmenbedingungen ergibt sich das Bild eines Hochschulmanagements, das sich Spannungsfeldern und Dilemmata ausgesetzt sieht.⁹ Hochschulen finden sich aufgrund (teilweise) noch nicht abgeschlossener Reformprozesse in einem Umfeld des Wandels und der Unsicherheit. Sie verfolgen ein pluralistisches, stark durch externe Einflüsse geprägtes Zielsystem und die Organisation von Hochschulen ist geprägt durch Dezentralität und (teilweise) widersprüchliche Koordinationsmechanismen. Das Hochschulmanagement muss diesen Spannungsfeldern und Dilemmata begegnen. Dies geschieht auf unterschiedlichen Ebenen – beteiligt sind Mitglieder verschiedener Strukturelemente der Organisation – durch die Wahrnehmung verschiedener Aufgaben und Funktionen. Die unter dem Begriff „Hochschulmanagement“ zusammengefassten Entscheidungsträger und deren Aufgaben werden im Folgenden erläutert.

2.1.2 Ausgestaltung des Hochschulmanagements

2.1.2.1 Theoretische Einordnung des Managementbegriffs

Die Betriebswirtschaftslehre betrachtet den Begriff „Management“ aus zwei deutlich unterschiedlichen Perspektiven – der institutionellen und der funktionalen (vgl. Schreyögg & Koch, 2010, S. 6 f.). Aus der *institutionellen Perspektive* wird mit Management die *Personengruppe* bezeichnet, der in einer Organisation Anweisungsbefugnisse übertragen sind, d. h. alle Mitglieder einer Organisation, die die Funktion von Vorgesetzten wahrnehmen (vgl. Schreyögg & Koch, 2010, S. 6). Dem gegenüber ist die Betrachtung des Managements aus *funktionaler Perspektive* unabhängig von Personen oder Hierarchieebenen einer Organisation (vgl. Schreyögg & Koch, 2010, S. 7). Aus dieser Perspektive beschreibt der

⁸ Der an der Universität Osnabrück gebräuchlichen Terminologie folgend wird in dieser Arbeit statt des Begriffs Fakultät, mit dem eine organisatorische Zusammenfassung verwandter oder zusammengehörender Wissensgebiete beschrieben wird (vgl. Heinrichs, 2010, S. 48), der Begriff Fachbereich verwendet. Fachbereiche können weiter untergliedert sein in Institute, d. h. wissenschaftliche Einrichtungen, deren Mitglieder im gleichen Fach, z. B. in der Wirtschaftsinformatik, forschen und lehren (vgl. Heinrichs, 2010, S. 50). Wiederum der an der Universität Osnabrück gebräuchlichen Terminologie folgend wird statt des Begriffs Lehrstuhl, mit dem gemeinhin eine Organisationseinheit bestehend aus dem Inhaber einer Professorenstelle sowie dessen Mitarbeitern bezeichnet wird, in dieser Arbeit die Bezeichnung Fachgebiet verwendet.

⁹ Eine ausführliche Diskussion der Spannungsfelder und Dilemmata erfolgt bei (Froese, 2012, S. S. 68 ff.).

Begriff Management die *Aufgaben*, die erfüllt werden müssen, um eine Organisation zu steuern und die Zielerreichung zu sichern – sogenannte *Managementfunktionen* (vgl. Schreyögg & Koch, 2010, S. 7). Zur Erfüllung der Funktionen werden in der Regel Leitungshierarchien geschaffen, deren *Instanzen* neben den Managementfunktionen auch Sachaufgaben – z. B. Aufgaben in der Produktion – zu erfüllen haben (vgl. Schreyögg & Koch, 2010, S. 7). Zusammenfassend lässt sich Management aus der funktionalen Perspektive definieren als „[...] ein Komplex von Steuerungsaufgaben, die bei der Leistungserstellung und -sicherung in arbeitsteiligen Organisationen erbracht werden müssen.“ (Schreyögg & Koch, 2010, S. 8). Die Steuerungsaufgaben fallen grundsätzlich in jeder Leitungsposition an, unabhängig von Organisationseinheit und Hierarchieebene (vgl. Schreyögg & Koch, 2010, S. 8).

Zur Ordnung dieser Aufgaben bietet sich die Unterscheidung von strategischem und operativem Management an (vgl. Heinrichs, 2010, S. 10). Dem **strategischen Management** zugeordnet sind alle Steuerungsaufgaben, die sich durch einen langfristigen Fokus auszeichnen und in der Regel wenig repetitiv sind (vgl. Gluchowski, Gabriel, & Dittmar, 2008, S. 17). Bezogen auf das Hochschulmanagement sind dies z. B. Planungsaufgaben, die mindestens weite Teile der Hochschule betreffen und häufig von grundsätzlicher, hochschulpolitischer Bedeutung sind, z. B. die Aufstellung von Struktur- und Entwicklungsplänen (vgl. Heinrichs, 2010, S. 10 f.) oder die Planung von Organisationszielen (vgl. Nickel, 2007, S. 76 f.). Das **operative Management** umfasst wiederkehrende Koordinationsaufgaben, wie Mitarbeiterführung und -motivation, Planung und Kontrolle (vgl. Gluchowski u. a., 2008, S. 17 f.). In Hochschulen sind dies beispielsweise die Sicherstellung der Umsetzung strategisch vorgegebener Studienziele durch geeignete Lehrinhalte oder die Betreuung von Studierenden (vgl. Heinrichs, 2010, S. 11).

Im nächsten Kapitel erfolgt eine Diskussion des Aufgabenspektrums der Mitglieder aller fünf Strukturelemente der professionellen Bürokratie Hochschule. Durch die Bestimmung von Steuerungsaufgaben innerhalb des dargestellten Aufgabenspektrums und eine Einordnung der Steuerungsaufgaben in solche, die dem strategischen, und solche, die dem operativen Management zuzuordnen sind, wird in Kapitel 2.1.2.3 eine Eingrenzung des Hochschulmanagements vorgenommen.

2.1.2.2 Aufgabenspektrum der Mitglieder der professionellen Bürokratie Hochschule

Das Aufgabenspektrum einzelner Mitglieder einer Hochschule ist geprägt durch die Reformen der letzten 15 Jahre. Denn die Aufgaben lassen sich mindestens teilweise ableiten aus den Hochschulgesetzen der Bundesländer (vgl. Bayer, 2002, S. 84; Postert, 2001, S. 91), die im Rahmen der Reformprozesse eine grundlegende Überarbeitung erfahren haben. Das Aufgabenspektrum, das sich aus dem aktuellen Stand der Gesetze für die Mitglieder einzelner Strukturelemente der professionellen Bürokratie Hochschule ergibt, wird im Folgenden diskutiert.

Die Leitung der Hochschule obliegt dem Präsidium (vgl. § 37 *NHG*, 2007, Abs. 1, S. 1) und damit Mitgliedern der **strategischen Spitze** einer Hochschule. Das Präsidium ist insbesondere zuständig für die Ressourcenplanung und -verteilung (vgl. Bayer, 2002, S. 84), konkret die Aufstellung des Wirtschaftsplans, den Abschluss von Zielvereinbarungen und die leistungsorientierte Mittelverteilung innerhalb der Hochschule (vgl. § 37 *NHG*, 2007, Abs. 1, Nr. 1-3). Darüber hinaus fallen in den Aufgabenbereich des Präsidiums die Errichtung, Änderung oder Aufhebung von Fakultäten, die Einführung, Schließung oder wesentliche Änderung von Studiengängen sowie die Genehmigung von Prüfungsordnungen (vgl. § 37 *NHG*, 2007, Abs. 1, Nr. 4-5). Zur Erfüllung dieser Aufgaben werden hoch aggregierte Informationen hinsichtlich der Ressourcen, z. B. die Anzahl der Räume oder der besetzten Stellen, der Lehre, z. B. Studierendenzahlen und deren Entwicklung, der Forschung, z. B. die Anzahl an Publikationen, sowie Informationen aus externen Quellen benötigt (vgl. Postert, 2001, S. 96/98). Der Senat hat gegenüber dem Präsidium ein umfassendes Informationsrecht insbesondere hinsichtlich des Wirtschaftsplans und der Zielvereinbarungen (vgl. § 41 *NHG*, 2007, Abs. 3). Er beschließt ferner Prüfungsordnungen für fakultätsübergreifende Studiengänge sowie die Grundordnung der Hochschule (vgl. § 41 *NHG*, 2007, Abs. 1). Für die Wahrnehmung seiner Aufgaben hat der Senat den gleichen Informationsbedarf wie das Präsidium (vgl. Postert, 2001, S. 98). Gleiches gilt für den Hochschulrat, der im Kern die Aufgabe der Beratung von Präsidium und Senat übernimmt und Stellung nimmt zu Entwicklungs- und Wirtschaftsplänen sowie Zielvereinbarungen (vgl. § 52 *NHG*, 2007, Abs. 1, Nr. 1-2).

Als Mitgliedern der Gruppe des **mittleren Linienmanagements** kommt Dekanatsmitgliedern die Leitung einer Fakultät als zentrale Aufgabe zu (vgl. § 43 *NHG*, 2007, Abs. 1, S. 1). Dabei hat ein Dekan die Aufgaben der Kontrolle der Aufgabenerfüllung innerhalb der Fakultät, der Ausführung des Haushaltsplans sowie der Interessenvertretung

der Fakultät (vgl. Hödl & Zegelin, 1999, S. 268). Als Mitglied des Dekanats ist ein Studiendekan verantwortlich für die Sicherstellung des Lehrangebots, die Kontrolle der Fakultätsangehörigen im Hinblick auf deren Aufgabenerfüllung in der Lehre, die Studienberatung und die Durchführung von Prüfungen (vgl. § 45 *NHG*, 2007, Abs. 3). Bei diesen Aufgaben kann der Studiendekan unterstützt werden durch sogenannte Studiengangkoordinatoren (vgl. Alesi, Bürger, Kehm, & Teichler, 2005, Abschn. 4.3.2). Im Rahmen der in Kapitel 2.1.1.1 skizzierten Professionalisierung des Hochschulmanagements kommt es darüber hinaus zur Einbindung sogenannter Fakultätsmanager (vgl. Leichsenring, 2007, S. 1). Diese übernehmen je nach Stellenprofil z. B. die Lehrveranstaltungsorganisation und -koordination, Beratungsfunktionen und die Planung des Haushalts/der Finanzen (vgl. Leichsenring, 2007, S. 19 f.). Im Bereich der Haushalts- und Finanzplanung kommt Dekanatsmitgliedern ferner die Aufgabe der aufgaben- und leistungsorientierten Ressourcenallokation und -planung zu (vgl. Lange & Horch, 2007, S. 66/69). In der Synthese besteht die Aufgabe der Dekanatsmitglieder in der Sicherstellung eines wettbewerbsfähigen, markt-adäquaten Lehr- und Forschungsprofils (vgl. Postert, 2001, S. 92). Zur Erfüllung ihrer Aufgaben benötigen die genannten Entscheidungsträger des mittleren Linienmanagements Informationen hinsichtlich der Ressourcen, der Lehre und der Forschung sowie externe Daten, wie z. B. Betreuungsquoten, bis maximal zum Aggregatsniveau einzelner Lehreinheiten (vgl. Postert, 2001, S. 98). Zur strategischen Planung des Ressourceneinsatzes müssen diese Informationen zusätzlich einen Zukunftsbezug aufweisen (vgl. Lange & Horch, 2007, S. 69).

Aufgabe der Mitglieder der **unterstützenden Einheiten** ist die Sicherstellung der Versorgung der Mitglieder des operativen Kerns sowie des mittleren Linienmanagements mit Dienstleistungen (vgl. Kapitel 2.1.1.3). Dies umfasst beispielsweise die Betreuung eines hochschulinternen Datennetzes oder die Erstellung von IT-Risikomanagementkonzepten seitens eines Rechenzentrums (vgl. Moog, 2005, S. 100), das durch das Angebot dieser Dienstleistungen Mitglieder z. B. aus dem operativen Kern von Routinetätigkeiten im Bezug auf die Informationstechnologie entlastet (vgl. Moog, 2005, S. 101). Darüber hinaus übernehmen unterstützende Einheiten Servicetätigkeiten im Bereich Personal, z. B. die Personalaktenführung oder die Vorbereitung von Einstellungen (vgl. Stratmann, 2007, S. 33). Zur Erfüllung ihrer Aufgaben sind sie angewiesen sowohl auf aggregierte als auch auf disaggregierte Informationen aus spezifischen Systemen, z. B. aus Personalinformationssystemen (vgl. Postert, 2001, S. 98).

Dem in der **Technostruktur** angesiedelten Hochschulcontrolling obliegt die Abbildung und Messung der Leistungserstellung hinsichtlich der Hauptziele Forschung und Lehre mit dem Zweck der Schaffung von Transparenz sowie der Ermöglichung von Wirtschaftlichkeitsrechnungen (vgl. Goeken & Burmester, 2004, S. 141). Die Messung der Leistungserstellung beruht dabei im Hinblick auf monetäre Größen auf in Administrationssystemen erfassten Daten, im Hinblick auf die Messung von Forschungs- und Lehrleistung müssen hingegen geeignete Indikatorsysteme (vgl. Kapitel 2.1.1.2) verwendet werden (vgl. Goeken & Burmester, 2004, S. 141). Die im Controlling ermittelten Informationen richten sich an die Mitglieder der strategischen Spitze und des mittleren Linienmanagements, die hierdurch in ihren Entscheidungs- und Planungsprozessen unterstützt werden sollen (vgl. Goeken & Burmester, 2004, S. 141).

Durch die Mitglieder des **operativen Kerns**, d. h. durch Professoren und wissenschaftliche Mitarbeiter in Instituten und Fachgebieten, finden die Produktion wissenschaftlicher Leistungen (vgl. Gelhoet, 2009, S. 19) sowie die Lehre statt. Im Rahmen der Lehre kommen Professoren insbesondere die Aufgaben der Abnahme von Prüfungen und der Studienberatung zu (vgl. § 24 *NHG*, 2007, Abs. 1, S. 2). Ferner sind Instituts- und Fachgebietsleiter zuständig für die Einstellung von Personal und die Mittelverwendung in ihrer Organisationseinheit sowie die Einwerbung von Drittmitteln (vgl. Postert, 2001, S. 91). Zur Sicherstellung eines fach-adäquaten, optimierten Ressourceneinsatzes innerhalb der Fachgebiete (vgl. Postert, 2001, S. 92) und Institute benötigen deren Leiter Informationen hinsichtlich Ressourcen, Lehre und Forschung auf niedrigem Aggregationsniveau bis hin zur Aggregatsebene der Lehreinheit, der sie zugeordnet sind (vgl. Postert, 2001, S. 98).

2.1.2.3 Abgrenzung von Aufgaben und Mitgliedern des Hochschulmanagements

In dieser Arbeit erfolgt eine Abgrenzung des Hochschulmanagements aus der funktionalen Perspektive anhand einer Bestimmung der als Steuerungsaufgaben zu bezeichnenden Aufgaben der Mitglieder einzelner Strukturkomponenten der professionellen Bürokratie Hochschule. Die Aufgaben werden anhand ihrer Charakteristika in das strategische und das operative Hochschulmanagement (aus funktionaler Perspektive) eingeordnet. Analog wird die Unterscheidung zwischen strategischem und operativem Hochschulmanagement zur Einordnung der für die Ausführung der Aufgaben verantwortlichen Mitglieder der Strukturkomponenten – d. h. zur Abgrenzung des Hochschulmanagement aus institutioneller Perspektive – verwendet.

Mitglieder der strategischen Spitze einer Hochschule übernehmen Aufgaben, die sich durch eine Ausrichtung auf die Steuerung einer gesamten Hochschule, einen langfristigen Fokus und einen wenig repetitiven Charakter auszeichnen, z. B. die Aushandlung von Zielvereinbarungen oder die Einrichtung von Forschungsschwerpunkten (vgl. Kapitel 2.1.2.2). Aufgaben und Mitglieder der strategischen Spitze einer Hochschule sind folglich dem *strategischen Hochschulmanagement* zuzuordnen.

Das Aufgabenspektrum der Mitglieder des mittleren Linienmanagements ist breiter gefächert als das der Mitglieder der strategischen Spitze. So fallen im Hinblick auf Studium und Lehre insbesondere für Studiendekane und Studiengangkoordinatoren wiederkehrende Steuerungsaufgaben, wie z. B. die Koordination und Durchführung von Prüfungen an (vgl. Kapitel 2.1.2.2). Diese Aufgaben des mittleren Linienmanagements sind aufgrund ihrer Charakteristika dem *operativen Hochschulmanagement* zuzuordnen. Dem gegenüber weist z. B. die aufgaben- und leistungsorientierte Mittelverteilung, die hauptsächlich von Dekanen und Fakultätsmanagern verantwortet wird (vgl. Kapitel 2.1.2.2), einen langfristigen Fokus auf und ist wenig repetitiv. Sie ist dem *strategischen Hochschulmanagement* zuzurechnen. Zusätzlich kommen Dekanen und Fakultätsmanagern aber auch wiederkehrende Steuerungsaufgaben zu, die unter den Begriff des *operativen Hochschulmanagements* zu subsumieren sind, wie z. B. die Kontrolle der Aufgabenerfüllung in der Fakultät oder die Beratung (vgl. Kapitel 2.1.2.2). Eine klare Einordnung des mittleren Linienmanagements und dessen Aufgaben in das strategische oder operative Hochschulmanagement ist folglich nicht eindeutig möglich. Studiendekane und Studiengangkoordinatoren bzw. deren Aufgaben sind eher dem *operativen Hochschulmanagement* zuzuordnen. Dekane und Fakultätsmanager bzw. deren Aufgaben bilden eine *Schnittstelle zwischen operativem und strategischem Hochschulmanagement*.

Das Aufgabenspektrum der Mitglieder der Technostruktur einer Hochschule umfasst vorrangig Leistungsmessung und Informationsbereitstellung (vgl. Kapitel 2.1.2.2), d. h. repetitive Steuerungsaufgaben. Mitglieder der Technostruktur, d. h. das Hochschulcontrolling, sowie deren Aufgaben sind folglich dem *operativen Hochschulmanagement* zuzuordnen.

Das Aufgabenspektrum der Mitglieder des operativen Kerns umfasst hauptsächlich repetitive Aufgaben in der Leistungserstellung, Planung und Kontrolle, wie z. B. die (optimierte) Ressourcenverwendung (vgl. Kapitel 2.1.2.2). Diese Personengruppe und ihre Aufgaben sind demnach dem *operativen Hochschulmanagement* zuzuordnen.

Die Aufgaben der Mitglieder der unterstützenden Einheiten sind nicht als Steuerungsaufgaben im Sinne des Managementbegriffs aus funktioneller Perspektive zu charakterisieren. Vielmehr handelt es sich um wiederkehrende Sachaufgaben. Folglich sind die unterstützenden Einheiten bzw. deren Aufgaben nicht dem Hochschulmanagement zuzurechnen.

Neben den Mitgliedern der genannten Strukturkomponenten der Organisation Hochschule tragen indirekt auch Studierende durch Erfüllung ihrer Aufgaben zur Zielerreichung von Hochschulen bei – ihre Entscheidungen haben z. B. Einfluss auf Studienerfolgskennzahlen (vgl. Rieger u. a., 2009, S. 527). Darüber hinaus geben Hochschulgesetzgeber und die interessierte Öffentlichkeit Ziele exogen vor (vgl. Kapitel 2.1.1.2) und üben eine Kontrollfunktion z. B. im Rahmen der Akkreditierung und durch die Forderung nach Transparenz aus (vgl. Kapitel 2.1.1.1). Sie werden in dieser Arbeit allerdings nicht als Mitglieder des Hochschulmanagements angesehen. Vielmehr bilden die Entscheidungen dieser Personen(gruppen) Rahmenbedingungen, die in Entscheidungs- und Planungsprozessen der Mitglieder des Hochschulmanagements zu berücksichtigen sind.

Abbildung 2-4 fasst die Aufgaben des Hochschulmanagements geordnet nach Strukturkomponenten der professionellen Bürokratie und strategischer bzw. operativer Managementebene zusammen:



Abbildung 2-4: Aufgaben und Mitglieder des operativen und strategischen Hochschulmanagements

Quelle: Eigene Darstellung

Wie aus den Ausführungen der letzten Kapitel hervorgeht, ist das Hochschulmanagement mit einer Vielzahl an Aufgaben betraut, die einen Planungscharakter aufweisen, z. B. der

Ressourcenplanung, der Aufstellung eines Wirtschaftsplans oder der Sicherstellung des Lehrangebots. Durch das in dieser Arbeit entwickelte Konzept sollen Entscheidungsträger bei Planungsaufgaben wie diesen durch die Bereitstellung von Informationen unterstützt werden, d. h. sowohl Mitglieder des strategischen als auch des operativen Hochschulmanagements (aus institutioneller Perspektive) sind Zielgruppen der konzipierten Unterstützungsfunktionen. Fokussiert werden dabei die Gruppen der Entscheidungsträger in der strategischen Spitze, dem mittleren Linienmanagement und dem operativen Kern, da diese unmittelbar mit der Erreichung von Kernzielen einer Hochschule betraut sind. Für die Ableitung des Unterstützungsbedarfs von Entscheidungsträgern des Hochschulmanagements im Hinblick auf (ausgewählte) Planungsaufgaben ist zunächst eine Diskussion des Planungsbegriffs und der Teilaufgaben der Planung erforderlich. Diese schließt sich im folgenden Kapitel an.

2.2 Die Managementfunktion Planung unter besonderer Berücksichtigung des Zukunftsbezugs durch Prognose

2.2.1 Gestaltungsaspekte der Planung

2.2.1.1 Einordnung und Funktionen der Planung

Planung stellt in Organisationen ein wichtiges Steuerungsinstrument dar (vgl. Wild, 1982, S. 18) und geht im Managementprozess allen anderen Funktionen voraus (vgl. Steinmann & Schreyögg, 2005, S. 131). Pfohl & Stölzle (1997) sprechen daher von einem „*Primat der Planung*“ (Pfohl & Stölzle, 1997, S. 16). Die der Planung nachgeordneten Subsysteme des Managements – Organisation, Führung, Managemententwicklung und Kontrolle – dienen (lediglich) der Planrealisierung (vgl. Pfohl & Stölzle, 1997, S. 16). Der Grund für die dominante Stellung der Planung wird anhand der folgenden Erläuterung des Planungsbegriffs und insbesondere der Funktionen der Planung einsichtig.

Die Erreichung von Organisationszielen hängt sowohl von durch das Management (aus institutioneller Perspektive) festgelegten Variablen als auch von exogenen Größen, wie z. B. der Nachfrage nach bestimmten Produkten oder Dienstleistungen, ab (vgl. Koch, 1982, S. 4). Diese exogenen Größen stellen *Daten* dar, welche einer Veränderung im Zeitablauf unterliegen, an die sich eine Organisation laufend anpassen muss (vgl. Koch, 1982, S. 4). In der Regel sind die Ausprägungen dieser Daten *unsicher* (vgl. Klein & Scholl, 2011, S. 10). Planung ist zu verstehen als ein *Prozess*, der zeitlich vor dem Eintritt be-

stimmter Konstellationen der Daten stattfindet und sie *antizipiert* (vgl. Koch, 1982, S. 5), um das zum Eintrittszeitpunkt der Datenkonstellationen notwendige *Handeln vorzubereiten und zu gestalten* (vgl. Ossadnik, 2008, S. 3). Planung dient damit allgemein der *Reduktion der Unsicherheit* und weist eine auch als *strukturell-präskriptiv* bezeichnete Ausrichtung auf (vgl. Macharzina, 1975, S. 29). Auf Grund dieser Charakteristika ist Planung zu definieren als „die Vorbereitung künftigen Handelns auf der Grundlage systematisch prognostizierter Entwicklungen innerhalb und außerhalb der Grenzen des durch einen Handlungsträger Beeinflussbaren“ (Ossadnik, 2008, S. 3). Direkt erkennbar ist aus der Definition die enge Beziehung von Planung und Prognose, die Prognose gilt als „eine unverzichtbare Vorbedingung der Planung“ (Macharzina, 1975, S. 30). Ferner umfasst Planung einerseits die *Festlegung zu erreichender Ziele*, andererseits die *Festlegung der zur Zielerreichung zu verfolgenden Maßnahmen* (vgl. Ossadnik, 2008, S. 3). Mit der Planung verbunden ist damit stets auch die Aufgabe, zwischen einander ausschließenden Alternativen zu wählen (vgl. Ossadnik, 2008, S. 3). Diese Auswahl ist als *Entscheidung* zu bezeichnen (vgl. Mag, 1977, S. 3). Insofern schließt die Planung Entscheidungen mit ein. Während im Rahmen der Entscheidung auf Basis von Informationen über Ziele, Auswahlregeln und den durch Wahl einer Alternative realisierbaren Zielerreichungsgrad eine Rangordnung zur Auswahl einer Alternative zu erstellen ist (vgl. Ossadnik, 2008, S. 4), sind durch die Planung Ziele zu definieren, Transparenz über Alternativen und deren Konsequenzen herzustellen und die Ausführung ausgewählter Maßnahmen vorzubereiten (vgl. Ossadnik, 2008, S. 3).

Das informationelle Ergebnis der Planung ist ein *Plan* oder ein *Teilplan* (vgl. Klein & Scholl, 2011, S. 4; Wild, 1982, S. 14). Darin enthalten sind integrierte Informationen hinsichtlich der verfolgten Ziele, der zu lösenden Problemstellung, verfügbarer Ressourcen, zu beachtender Umweltbedingungen, geplanter Maßnahmen, Planverantwortlichen, zeitlicher Bedingungen und prognostizierter Wirkungen der Maßnahmen (vgl. Wild, 1982, S. 14). Die geordnete und integrierte Gesamtheit von Plänen sowie ihrer (Informations-) Beziehungen wird als *Planungssystem* bezeichnet (vgl. Adam, 1996, S. 311; Wild, 1982, S. 153).

Der Planung kommen verschiedene Funktionen zu, die sich klassifizieren lassen in sogenannte Grundfunktionen und spezielle Planungsfunktionen (vgl. Pfohl & Stölzle, 1997, S. 65 ff.; Wild, 1982, S. 15 ff.). Insgesamt sind fünf **Grundfunktionen** zu nennen (vgl. Wild, 1982, S. 18). Dazu zählt mit der größten Bedeutung die Erfolgssicherung bzw. *Effi-*

zienssteigerung im Hinblick auf menschliches Handeln und den Einsatz knapper Ressourcen durch die Senkung des Risikos, Fehlentscheidungen zu treffen, und durch Vermeidung falschen Handelns (vgl. Wild, 1982, S. 15/18). Zusätzlich dient Planung der *Risikoerkennung und -reduzierung* (vgl. Wild, 1982, S. 18), indem sie zur Aufdeckung von Risiken und Erfolgchancen beiträgt und diese damit kalkulierbar macht (vgl. Wild, 1982, S. 15). Die dritte Grundfunktion ist die *Flexibilitätserhöhung* (vgl. Wild, 1982, S. 18). Durch Vermeidung von Sach- und Zeitzwängen mithilfe einer zeitlich vorgezogenen Problemanalyse und Problemlösung erlaubt es die Planung, Handlungsmöglichkeiten wahrzunehmen, die zu späteren Zeitpunkten und ohne Planung nicht mehr realisierbar wären (vgl. Wild, 1982, S. 15). Zu den Grundfunktionen zählt ferner die *Komplexitätsreduktion* (vgl. Wild, 1982, S. 18). Durch die Festlegung künftigen Handelns wird ein frühzeitiger Ausschluss von Alternativen, Zuständen und Ereignissen erreicht (vgl. Wild, 1982, S. 16). Schließlich besteht die fünfte Grundfunktion der Planung in der *Erzielung von Synergieeffekten durch Integration* (vgl. Wild, 1982, S. 18). Mehrere voneinander abhängige Einzelentscheidungen werden durch ihre Integration in einen langfristigen Gesamtplan koordiniert, um so die Zielerreichung gegenüber einer ungeplanten Ausführung der Einzelentscheidungen zu verbessern bzw. diese erst zu ermöglichen (vgl. Wild, 1982, S. 17). Der Planung kommt vor diesem Hintergrund gerade in Organisationen, in denen komplexe Handlungsinterdependenzen vorliegen, eine große Bedeutung zu (vgl. Wild, 1982, S. 17).

Die Mehrzahl der **speziellen Planungsfunktionen** lässt sich subsumieren unter den Begriff der Steuerung (vgl. Wild, 1982, S. 18 f.). Hierzu gehören z. B. die *Zielausrichtung* der Aktivitäten aller Organisationseinheiten durch Erstellung und Durchsetzung eines Zielsystems, die *Entscheidungsvorbereitung* z. B. durch Alternativensuche und Prognose, die *Koordination* von Entscheidungen durch Abstimmung und Ausrichtung auf gemeinsame Ziele, die *Problemerkennntnis* z. B. aufgrund der Prognose von Problemlagen im Sinne einer *Warnfunktion* und die *Kontrolle* durch Soll-Ist-Analysen (vgl. Wild, 1982, S. 19).

Inwieweit die Planung die erläuterten Funktionen erfüllen kann, hängt zum einen ab von prinzipiellen Grenzen, die von der Ausgestaltung des Planungssystems unabhängig sind (vgl. Pfohl & Stölzle, 1996, S. 236 f.). Zum anderen beeinflussen konzeptionelle Grenzen, die aus Schwächen eines Planungssystems entstehen, sowie die Ausgestaltung verschiedener Aktivitäten in einem Planungsprozess, z. B. die Priorisierung von Alternativen, die Erfüllung der Funktionen (vgl. Pfohl & Stölzle, 1996, S. 236 f.). Da die beiden letztgenannten Grenzen durch eine Organisation selbst beeinflusst werden können, folgt in den

nächsten Kapiteln eine Erläuterung der Gestaltungsaspekte von Planungssystemen und des Planungsprozesses. Dies dient auch der Einordnung der Planung in Hochschulen und der Eingrenzung der Planungsphasen, die durch das entwickelte Konzept unterstützt werden, im weiteren Verlauf der Arbeit.

2.2.1.2 Ordnung von Teilplanungen in Planungssystemen

Ein Planungssystem beschreibt, in wie viele und welche Teilplanungen die Gesamtplanung einer Organisation unterteilt ist und welche Entscheidungstatbestände einzelnen Teilplanungen zugeordnet sind (vgl. Adam, 1996, S. 310). Zur Untergliederung in Teilplanungen werden in der Literatur die vier Klassifikationsmerkmale Dimension der Variablen, Zusammenhang von Planung und Organisation, Anzahl der an der Planung beteiligten Entscheidungsträger sowie Fristigkeit der Planung bzw. Bedeutung der Planung für den Erfolg einer Organisation vorgeschlagen (vgl. Adam, 1996, S. 310).

Nach dem Merkmal der **Dimension der Variablen** ist zu differenzieren zwischen *Mengen-* bzw. *Wertplänen*. Diese Differenzierung sagt nichts über die Art eines Planungsvorgangs aus, vielmehr steht hier die Darstellung der Planungsergebnisse im Vordergrund (vgl. Adam, 1996, S. 314). Das Ergebnis eines Mengenplans wird in Mengen von Produktionsfaktoren oder Erzeugnissen ausgedrückt (vgl. Adam, 1996, S. 311). Werden derartige Mengen mit Zielbeiträgen – z. B. Kosten oder Erlösen – bewertet, liegt ein Wertplan vor (vgl. Adam, 1996, S. 311).

Da Planung in der Regel arbeitsteilig durchgeführt wird, kann die Gestaltung von Planungssystemen nicht unabhängig von der Organisationsstruktur vorgenommen werden (vgl. Wild, 1982, S. 188). Es bestehen vielmehr enge **Zusammenhänge zwischen Planung und Organisation**, aus denen sich verschiedene Möglichkeiten zum Aufbau eines Planungssystems ergeben (vgl. Adam, 1996, S. 352). Insbesondere ist durch die Organisationsstruktur die sachliche Untergliederung der Planung nach Funktionen (im Falle einer Organisation nach dem Verrichtungsprinzip), Sparten (im Falle einer Organisation nach dem Objektprinzip) bzw. Geschäftsprozessen (im Falle einer prozessorientiert gestalteten Organisation) determiniert (vgl. Adam, 1996, S. 348/352). So kann beispielsweise im Falle einer Organisation nach dem Verrichtungsprinzip eine Differenzierung der Planung in Forschungs- und Entwicklungsplanung, Produktionsplanung, Marketingplanung, Finanzierungsplanung, Logistikplanung, Personalplanung etc. erfolgen (vgl. Adam, 1996, S. 352 f.; Wild, 1982, S. 166 f.). Ferner ist der Informationsaustausch zwischen verschiedenen an der

Planung beteiligten Organisationseinheiten und die Koordination von Teilplänen durch die Organisationsstruktur determiniert (vgl. Adam, 1996, S. 348).

In einem engen Zusammenhang insbesondere mit der Regelung des Informationsaustauschs und der Koordination von Teilplänen steht das Merkmal der **Anzahl der an der Planung beteiligten Entscheidungsträger**. Hiernach lassen sich Planungssysteme einordnen in ein Kontinuum zwischen den zwei theoretischen Extremfällen der *Zentralisation* und der *Dezentralisation* der Planung (vgl. Wild, 1982, S. 185). Zentralisation beschreibt einen Zustand, in dem alle Pläne in der strategischen Spitze einer Organisation bzw. in einer ihr zugeordneten Planungsabteilung erstellt werden (vgl. Wild, 1982, S. 185). Die vollständige Zentralisation der Planung setzt voraus, dass alle für die Planung notwendigen Informationen in der Planungsabteilung bzw. der strategischen Spitze vorliegen, dort verarbeitet werden können und die mit der Planung befassten Entscheidungsträger hinreichende Kenntnis bzgl. der durch die Planung zu lösenden Probleme besitzen (vgl. Wild, 1982, S. 185). Da diese Anforderungen in der Regel nicht erfüllt sind, kann diese Ausgestaltung eines Planungssystems nur als Idealtyp diskutiert werden (vgl. Wild, 1982, S. 185). Im Falle der vollständigen Dezentralisation der Planung sind mehrere Entscheidungsträger an der Planung beteiligt, die jeweils nur dazu verpflichtet sind, die Wirkungen geplanter Maßnahmen auf einen ihnen zugeordneten Teilbereich der Organisation zu berücksichtigen (vgl. Adam, 1996, S. 355). Daher können Koordinationsmängel entstehen, die sich z. B. in der fehlenden zeitlichen oder sachlichen Abstimmung von Plänen einzelner Teilbereiche oder in der Konkurrenz der durch Pläne einzelner Teilbereiche verfolgten Ziele mit übergeordneten Zielen der Organisation niederschlagen (vgl. Adam, 1996, S. 355 f.). In der Praxis finden sich aufgrund der skizzierten Nachteile der Extremfälle in der Regel Planungssysteme, die Elemente sowohl der Dezentralisation als auch der Zentralisation enthalten (vgl. Adam, 1996, S. 355). Ein Beispiel hierfür stellen **hierarchische Planungssysteme** dar (vgl. Koch, 1982, S. 17). Sie vereinigen Elemente der Zentralisation und Dezentralisation durch Einbeziehung sowohl der strategischen Spitze als auch weiterer Strukturelemente einer Organisation (vgl. Koch, 1982, S. 32). Besondere Charakteristika hierarchischer Planungssysteme sind eine *vertikale Differenzierung* in mehrere Planungsebenen, das Recht übergeordneter Planungsebenen, Ergebnisse ihrer Planungen als Rahmen für die Planungen untergeordneter Ebenen vorzugeben sowie die Abhängigkeit des Planungserfolgs übergeordneter Ebenen vom Erfolg der Planung auf untergeordneten Ebenen (vgl. Adam, 1996, S. 377; Mesarovic, Macko, & Takahara, 1970, S. 34 ff.). Unterschieden werden im Zusammenhang mit hierarchischen Planungssystemen die

strategische, die *taktische* und die *operative Planungsebene* (vgl. Pfohl & Stölzle, 1997, S. 86). Zur Unterscheidung der Ebenen finden in der Literatur unterschiedliche Kriterien Anwendung (vgl. Adam, 1996, S. 375 f.; Klein & Scholl, 2011, S. 18 f.; Pfohl & Stölzle, 1997, S. 87; Wild, 1982, S. 166). Dominierend ist die Differenzierung anhand einer Kombination der Kriterien der zeitlichen und sachlichen Reichweite (vgl. Wild, 1982, S. 166), d. h. anhand der **Fristigkeit und der Bedeutung der Planung für den Erfolg einer Organisation**. Planungen auf der strategischen Ebene haben gegenüber denen auf anderen Ebenen die größte zeitliche und sachliche Reichweite (vgl. Ackoff, 1970, S. 3). Sie beeinflussen den Erfolg einer Organisation langfristig, erstrecken sich auf die generelle Ausrichtung einer Organisation und werden in der Regel durch Entscheidungsträger der obersten Hierarchieebenen, z. B. der strategischen Spitze oder allgemeiner des strategischen Managements (vgl. Kapitel 2.1.2.1; 2.1.2.3), erstellt (vgl. Adam, 1996, S. 314/376). Ergebnisse der Planung auf dieser Ebene sind grobe, hoch aggregierte Rahmenpläne (vgl. Klein & Scholl, 2011, S. 20). Auf der taktischen Planungsebene werden die auf der strategischen Ebene erstellten Rahmenpläne in jeweils mehrere Pläne mit kürzerer zeitlicher Reichweite zerlegt (vgl. Wild, 1982, S. 169). Planungen auf dieser Ebene dienen der Konkretisierung der Rahmenpläne auf mittlerem Aggregationsniveau (vgl. Klein & Scholl, 2011, S. 20) und können von den obersten auf niedrigere Hierarchieebenen, z. B. das mittlere Linienmanagement, delegiert werden (vgl. Adam, 1996, S. 316). Auf der operativen Planungsebene werden auf Grundlage der Vorgaben der taktischen Planungsebene konkrete Detailplanungen mit geringer zeitlicher Reichweite vorgenommen (vgl. Adam, 1996, S. 316; Klein & Scholl, 2011, S. 20; Wild, 1982, S. 169). Die auf dieser Ebene erstellten Pläne weisen eine geringe sachliche Reichweite auf, sie sind stark auf einzelne Teilbereiche einer Organisation zugeschnitten (vgl. Klein & Scholl, 2011, S. 20). Eine Delegation der Planerstellung dieser Ebene an Mitglieder des operativen Kerns oder allgemeiner des operativen Managements (vgl. Kapitel 2.1.2.1; 2.1.2.3) bietet sich an, da diese Detailkenntnisse hinsichtlich der durch die Planung zu lösenden Probleme haben.

Neben der vertikalen Differenzierung nach sachlicher und zeitlicher Reichweite sind hierarchische Planungssysteme in der Regel auch horizontal differenziert (vgl. Adam, 1996, S. 377 f.). So ist es möglich, einzelne Planungsebenen horizontal, z. B. nach Funktionsbereichen einer Organisation, zu gliedern (vgl. Wild, 1982, S. 169). Hierdurch entstehen parallele, interdependente Planungsfelder – bspw. benötigt eine Produktionsplanung Informationen aus einer Beschaffungsplanung und umgekehrt – die durch geeignete Koordinationsmechanismen aufeinander abzustimmen sind (vgl. Adam, 1996, S. 377 f.).

2.2.1.3 Phasen eines Planungsprozesses

Die prinzipielle Struktur eines Planungsprozesses wird in der Literatur durch dessen Zerlegung in Phasen erfasst (vgl. Klein & Scholl, 2011, S. 12 f.). Hinsichtlich der Anzahl der Phasen, die dem Planungsprozess zuzurechnen sind, herrscht allerdings keine Einigkeit (vgl. Mag, 1995, S. 8; Wild, 1982, S. 38 f.). So kann argumentiert werden, die Realisation sei nicht Teil einer Entscheidungsvorbereitung (vgl. Mag, 1995, S. 9). Diese Phase ist allerdings notwendig, um die wichtige Phase der Kontrolle, ohne die Planung sinnlos wäre, in den Planungsprozess einordnen zu können (vgl. Mag, 1995, S. 9). Um eine umfassende Diskussion der Planung zu ermöglichen, wird in dieser Arbeit der Phaseneinteilung des Planungsprozesses nach Mag (1995) gefolgt. Der Planungsprozess besteht hiernach aus den in Abbildung 2-5 dargestellten Phasen Zielanalyse, Problemanalyse, Alternativenanalyse, Prognose, Bewertung, Entscheidung, Realisation und Kontrolle (vgl. Mag, 1995, S. 46). Diese Phasen lassen sich allerdings weder strikt voneinander trennen, noch ist ihre Abfolge streng sequentiell, vielmehr sind Rückkopplungen zwischen den Phasen üblich und sinnvoll und die Reihenfolge kann variieren (vgl. Klein & Scholl, 2011, S. 12).

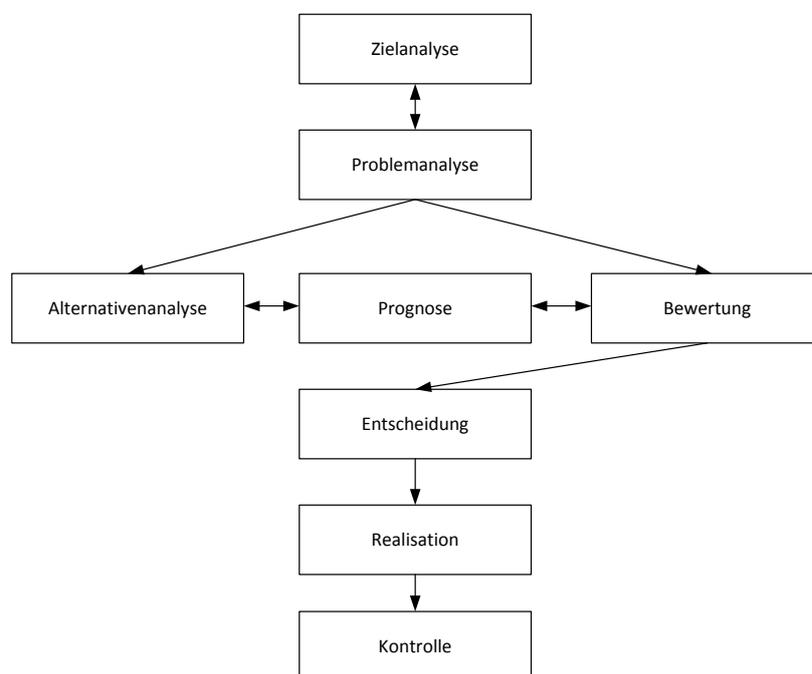


Abbildung 2-5: Phasen des Planungsprozesses

Quelle: In Anlehnung an (Macharzina & Wolf, 2012, S. 413; Mag, 1995, S. 8)

Die **Zielanalyse** bildet den Anfang eines Planungsprozesses (vgl. Mag, 1995, S. 47). In dieser Phase ist ein Zielsystem (vgl. Kapitel 2.1.1.2) zu entwickeln (vgl. Wild, 1982, S. 57). Es folgt eine eingehende Überprüfung der Realisierbarkeit und, sofern Zielalterna-

tiven vorliegen, eine Selektion, d. h. eine Entscheidung hinsichtlich der durchzusetzenden Ziele (vgl. Wild, 1982, S. 61 ff.). Die Zielanalyse schließt die an eine Entscheidung für Ziele bzw. ein Zielsystem notwendig anschließende Durchsetzung des Zielsystems ein, d. h. das Zielsystem muss kommuniziert und Teilziele müssen verantwortlichen Organisationseinheiten zugeordnet werden (vgl. Wild, 1982, S. 65). Aufgrund von Planabweichungen, Änderungen der Ausgangsziele oder Umweltänderungen ist schließlich eine laufende Zielüberprüfung und -revision notwendig (vgl. Wild, 1982, S. 65).

Aufgabe der **Problemanalyse** ist es, Probleme, d. h. negative Abweichungen zwischen im Rahmen der Zielanalyse festgelegten Zielen und einem gegenwärtigen oder zukünftigen Ist-Zustand, zu erkennen und für eine spätere Lösung aufzubereiten (vgl. Wild, 1982, S. 66). Probleme werden zumeist erkannt durch Gegenüberstellung von Zielgrößen und Ist-Zuständen im Rahmen der Kontrollphase bereits umgesetzter Pläne (vgl. Mag, 1995, S. 57 f.). Hierdurch erfolgt die Problemerkennung allerdings erst nach dem Auftreten von Problemen, Maßnahmen zur Lösung so erkannter Probleme haben demnach immer reaktiven Charakter (vgl. Adam, 1996, S. 36 f.; Mag, 1995, S. 58). Zur Ermöglichung eines proaktiven Umgangs mit Problemen müssen diese vor ihrem Auftreten identifiziert werden (vgl. Adam, 1996, S. 37; Wild, 1982, S. 67). Hierzu bietet sich der Einsatz sogenannter Frühwarnsysteme an, die durch Prognosen zukünftig zu erwartende Probleme aufdecken, wobei die zeitliche Reichweite der Prognose mindestens so groß sein sollte, dass durch Änderung von Plänen noch eine Beeinflussung des Zielerreichungsgrades, d. h. eine Lösung des Problems, möglich ist (vgl. Wild, 1982, S. 67 f.). Vor der Einleitung von Maßnahmen zur Lösung identifizierter Probleme sind letztere zu strukturieren, es ist eine Problemhierarchie zu erstellen, die Auskunft über Abhängigkeiten und Prioritäten einzelner Teilprobleme gibt (vgl. Mag, 1995, S. 58; Wild, 1982, S. 69).

Ziel der **Alternativenanalyse** ist die Suche und Formulierung alternativer, voneinander unabhängig realisierbarer Lösungsmöglichkeiten für die in der vorangegangenen Phase identifizierten Probleme (vgl. Mag, 1995, S. 65; Wild, 1982, S. 70). Durch einen kreativen Suchprozess werden Lösungsideen generiert, die durch Gliederung und Zusammenfassung in Alternativen zu überführen sind (vgl. Wild, 1982, S. 85). Die so abgeleiteten Alternativen werden hinsichtlich der zu ihrer Realisation vorgesehenen Maßnahmen, Ressourcen, Termine und Verantwortlichen konkretisiert, und eine Analyse der Beziehungen zwischen einzelnen Alternativen erfolgt (vgl. Wild, 1982, S. 85 f.). Schließlich sind die Alternativen hinsichtlich ihrer Vollständigkeit und Zulässigkeit zu prüfen (vgl. Wild, 1982, S. 86).

Die sich anschließende Phase dient der **Prognose**, d. h. dem Treffen von Aussagen, „die das Eintreten bestimmter Zustände oder Ereignisse in der näheren oder fernerer Zukunft behaupten“ (Wild, 1982, S. 88) und die „auf einer bewussten bzw. unbewussten systematischen Verarbeitung von Vergangenheitsdaten, Erfahrungen oder subjektiven Urteilen beruhen.“ (Fantapié Altobelli, 2011, S. 355).¹⁰ Eine entscheidende Bedeutung im Planungsprozess kommt der Prognose insofern zu, als durch die *Bereitstellung von Prognoseergebnissen eine informatorische Fundierung der Planung* (vgl. Adam, 1996, S. 194) im Sinne einer *Versorgung an der Planung beteiligter Entscheidungsträger mit verwertbaren Informationen* erfolgt. Ferner kann sich die zeitliche Reichweite der Planung nur maximal so weit in die Zukunft erstrecken, wie Informationen durch Prognosen mit hinreichender Sicherheit zur Verfügung gestellt werden können (vgl. Brockhoff, 1977, S. 20). Die zeitliche Reichweite der Prognose ist folglich eine Determinante der zeitlichen Reichweite der Planung (und umgekehrt). Das Hauptziel der Prognosephase besteht in der Reduktion der im Rahmen der Planung vorherrschenden Unsicherheit hinsichtlich zukünftiger Sachverhalte (vgl. Martino, 1993, S. 251). Da jede Prognose aber selbst mit Unsicherheit behaftet ist, sind Prognosefehler¹¹ unvermeidbar (vgl. Fantapié Altobelli, 2011, S. 355), ihr Einfluss auf die Brauchbarkeit erstellter Pläne ist in geeigneter Form zu erfassen (vgl. Reiß, 1989, Sp. 1632). Zentrale Bedeutung kommt der Prognose insofern auch bei der Abgrenzung einzelner Planungsebenen anhand des Kriteriums der Fristigkeit (vgl. Kapitel 2.2.1.2) zu. Hier muss eine Balance zwischen der Sicherheit durch Prognosen bereitgestellter Informationen und dem Informationsbedarf der Entscheidungsträger je Planungsebene gefunden werden. Eine eingehende Erläuterung verschiedener Arten und Methoden der Prognose erfolgt in Kapitel 2.2.2.

Aufgabe der **Bewertung** ist es, diejenige Lösungsalternative zu identifizieren, durch deren Umsetzung der höchste Zielerreichungsgrad realisierbar ist (vgl. Wild, 1982, S. 100). Grundlage der Bewertung bilden die in der Prognosephase erstellten Prognosen der Wirkungen einzelner Alternativen, es handelt sich somit um eine ex-ante Bewertung (vgl. Wild, 1982, S. 106). Welche Wirkungen konkret zur Bewertung herangezogen werden,

¹⁰ In dieser Arbeit wird dem Verständnis von Brockhoff (1977) gefolgt, der ausschließlich Aussagen hinsichtlich zukünftiger Zustände oder Ereignisse als Prognosen anerkennt, für die eine Eintrittswahrscheinlichkeit p mit $0 < p < 1$ angegeben werden kann (Brockhoff, 1977, S. 17). Kann das Eintreten eines Zustands oder Ereignisses bspw. mit Sicherheit behauptet werden ($p = 1$), ist die Behauptung keine Prognose, da ihr „das Merkmal der Ungewissheit fehlt, die mit gehaltvollen Aussagen über die Zukunft notwendig verbunden ist.“ (Brockhoff, 1977, S. 17).

¹¹ Die Differenz aus einem tatsächlichen Wert x_j und einem prognostizierten Wert f_j einer Variable wird als Prognosefehler bezeichnet (vgl. Hansmann, 1983, S. 14).

hängt von Bewertungskriterien ab, die eine Erfassung des Beitrags einzelner Alternativen zur Erreichung der durch die Zielanalyse identifizierten Ziele ermöglichen (vgl. Wild, 1982, S. 106). Erst nach der Aufstellung eines Katalogs von Bewertungskriterien kann entschieden werden, welche Prognosen für die Fundierung des Planungsprozesses notwendig sind, folglich kann auch erst dann eine Prognose durchgeführt werden (vgl. Wild, 1982, S. 106). Es bestehen somit Interdependenzen zwischen den Phasen der Alternativenanalyse, Prognose und Bewertung (vgl. Wild, 1982, S. 107). Diese sind in Abbildung 2-5 durch wechselseitige Verbindungspfeile dargestellt. Probleme ergeben sich in der Bewertungsphase vor allem aufgrund der mit Prognosen stets verbundenen Unsicherheit, die sich in das durch die Bewertung getroffene Urteil über den Zielerreichungsgrad einer Alternative fortsetzt (vgl. Wild, 1982, S. 107). Daneben sind Bewertungen stets durch Subjektivität geprägt, denn ein mit der Bewertung befasster Entscheidungsträger legt seinen persönlichen Zielen entsprechende Bewertungskriterien und Kriteriengewichte an, seine Intuition ist daher in der Regel nicht vollständig eliminierbar (vgl. Wild, 1982, S. 108 f.). Schließlich existieren zwar verschiedenste Bewertungsverfahren, die angeben, wie der Zielerreichungsgrad einzelner Alternativen numerisch zu bewerten ist (vgl. Mag, 1995, S. 91 ff.). Allerdings lassen sich Wirkungen von Alternativen selten vollständig in quantitative Größen transformieren (vgl. Adam, 1996, S. 12 f.). Ein mit der Bewertung befasster Entscheidungsträger ist im Falle solcher „Bewertungsdefekte“ (Adam, 1996, S. 12) zur Aufstellung alternativer Bewertungskriterien oder „sinnvoller“ Bandbreiten für Wertansätze gezwungen (vgl. Adam, 1996, S. 12 f.), dabei ist mit einer Steigerung der in die Bewertung eingehenden Intuition und Subjektivität zu rechnen.

Ergebnis der Bewertungsphase ist eine Rangordnung, die einem Entscheidungsträger die rationale Auswahl einer Alternative ermöglichen soll (vgl. Mag, 1995, S. 87). Aus dieser Rangordnung muss im Rahmen der **Entscheidung** nicht nur eine Alternative (diejenige mit dem höchsten Rang) ausgewählt werden, sondern die gewählte Alternative ist auch für vollzugsverbindlich zu erklären (vgl. Mag, 1995, S. 95). Das heißt, für die Umsetzung der ausgewählten Alternative im Rahmen der **Realisierung** muss gesorgt werden.

Die **Kontrolle** schließt den Planungsprozess ab und kann selbst neue Planungsprozesse initiieren (vgl. Mag, 1995, S. 47). Ziel dieser Phase ist die Aufdeckung und Analyse von Soll-Ist-Abweichungen. Hierzu erfolgt zunächst eine Ermittlung der durch die Realisation einer gewählten Alternative erzielten Ist-Werte, die objektiviert werden z. B. durch die Verwendung quantitativer Indikatoren (vgl. Mag, 1995, S. 97). Es folgt die Gegenüberstel-

lung der Ist-Werte mit im Rahmen der Zielanalyse identifizierten Zielen (Soll-Größen), d. h. der eigentliche Soll-Ist-Vergleich (vgl. Mag, 1995, S. 97). Werden hierbei Abweichungen identifiziert, dient eine Abweichungsanalyse der Erforschung der Ursachen (vgl. Mag, 1995, S. 97).

Die bisherigen Erläuterungen verdeutlichen die zentrale Stellung der Prognose im Rahmen des Planungsprozesses. Neben der Informationsgewinnung bezüglich zukünftiger Auswirkungen von Alternativen in der Prognosephase dient sie bereits in der Phase der Problemanalyse der antizipativen Erkennung von Problemen. Aufgrund dieser zentralen Stellung steht die Prognosephase bzw. ihre Ausgestaltung im Kontext hochschulinterner Planungssysteme im Zentrum der weiteren Ausführungen. Daher folgen neben einer Diskussion verschiedener Stufen von Prognoseprozessen eine Abgrenzung verschiedener Arten und Reichweiten der Prognose, sowie die Erläuterung in der Literatur diskutierter Methoden zur Durchführung von Prognosen.

2.2.2 Gestaltungsaspekte der Prognose zur Fundierung von Planungsprozessen

2.2.2.1 Stufen eines Prognoseprozesses

Um eine systematische Erarbeitung von Prognosen zu ermöglichen, ist eine Zerlegung des zu ihrer Erstellung zu durchlaufenden Prozesses in mehrere Stufen notwendig (vgl. Crone, 2010, S. 142 f.). Der Zerlegungsgrad hängt ab vom Stellenwert einer Prognose für eine Organisation (vgl. Hansmann, 1983, S. 13). Da mit der Prognose die informatorische Fundierung von Planungsprozessen erfolgt und in dieser Arbeit von einem nach dem Kriterium der Bedeutung für eine Organisation in verschiedene Ebenen differenzierten Planungssystem (vgl. Kapitel 2.2.1.2; 2.2.1.3) ausgegangen wird, ist eine Betrachtung der Planungsebene, auf der eine Prognose im Rahmen des Planungsprozesses durchgeführt wird, zur Bestimmung des notwendigen Zerlegungsgrades erforderlich. Eine allgemeingültige Aussage hinsichtlich der Anzahl und Reihenfolge der Stufen einer Prognosephase lässt sich demnach nicht treffen.¹² Abbildung 2-6 zeigt die von Armstrong (2001b) vorgeschlagene Zerlegung der Prognosephase anhand der sechs Hauptaufgaben eines Prognostikers in die Stufen Problemformulierung, Informationsbeschaffung, Auswahl der Methoden, Anwen-

¹² Z. B. stellt Brockhoff (1977) eine Zerlegung der Prognose in 13 Stufen bzw. Schritte vor, während Wild (1982) 6 und Makridakis, Wheelwright, & Hyndman (1998) 5 Stufen definieren.

derung der Methoden, Evaluation der Methoden und Anwendung der Prognoseergebnisse (vgl. Armstrong, 2001b, S. 8), der in dieser Arbeit gefolgt wird.¹³

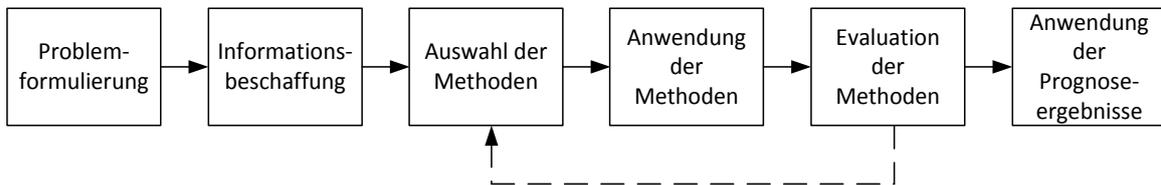


Abbildung 2-6: Stufen der Prognosephase

Quelle: In Anlehnung an (Armstrong, 2001b, S. 8)

Die **Problemformulierung** dient der Analyse der Ziele bzw. des Einsatzzwecks der Prognose (vgl. Armstrong, 2001d, S. 680 ff.). Beispielsweise sind die mit Informationen zu versorgenden Entscheidungsträger zu identifizieren (vgl. Makridakis, Wheelwright, & Hyndman, 1998, S. 13), und der benötigte Aggregationsgrad der Informationen ist zu definieren (vgl. Armstrong, 2001d, S. 682). Bei der Problemformulierung ist darüber hinaus festzulegen, welche Art und welche zeitliche Reichweite der Prognose benötigt werden (vgl. Wild, 1982, S. 99). Im Rahmen der anschließenden **Informationsbeschaffung** erfolgt die Identifikation geeigneter Datenquellen und die Sammlung relevanter historischer Daten (vgl. Armstrong, 2001d, S. 684 ff.), die für ihre Verwendung als Basis der Prognose aufzubereiten sind (vgl. Armstrong, 2001d, S. 688). In dieser Stufe verursacht insbesondere die Datenaufbereitung Kosten, deren Höhe wesentlich von der zur Prognoseerstellung zu verwendenden Prognosemethode abhängt (vgl. Bretzke, 1975, S. 123) und die im Rahmen der im Anschluss an die Sammlung und Aufbereitung der Daten erfolgenden **Auswahl von Prognosemethoden** zu berücksichtigen sind (vgl. Bretzke, 1975, S. 123). Ferner findet die Auswahl in Abhängigkeit der verfügbaren Daten und der in ihnen identifizierten Muster sowie der notwendigen Genauigkeit der Prognose statt (vgl. Armstrong, 2001d, S. 693). Grundsätzlich ist zwischen quantitativen und qualitativen Methoden zu wählen (vgl. Armstrong, 2001d, S. 692). Zur Entscheidung sollten Methodenvergleiche durchgeführt werden (vgl. Armstrong, 2001d, S. 693), bei denen in der Regel eine Bewertung verschiedener Methoden anhand eines Kriterienkatalogs erfolgt (vgl. Hüttner, 1986, S. 281). Durch die **Anwendung** einer oder mehrerer ausgewählter Methoden wird im Anschluss eine Prognose

¹³ Die vorgeschlagene Zerlegung basiert auf Beiträgen insgesamt 39 im Feld der Prognose führender Forscher, die einem intensiven, mehrstufigen Peer-Review-Prozess unterworfen wurden (vgl. Armstrong, 2001b, S. 6 f.). Den vorgeschlagenen Stufen werden insgesamt 139 Prinzipien zugeordnet, die die Beurteilung der Qualität einer Prognose bzw. eines Prozesses zur Erstellung einer Prognose unter verschiedensten Rahmenbedingungen ermöglichen (vgl. Armstrong, 2001d, S. 679). Es erscheint somit angemessen, diesem Vorschlag zu folgen.

se erstellt (vgl. Makridakis u. a., 1998, S. 15). Die weitere Untergliederung dieser Stufe ist abhängig von der eingesetzten Prognosemethode, insbesondere sind unterschiedliche Prinzipien bei der Anwendung quantitativer bzw. qualitativer Methoden zu beachten (vgl. Armstrong, 2001d, S. 697 ff.). Die **Evaluation** der angewandten Prognosemethode kann in der Regel erst erfolgen, wenn der Zeitabschnitt, auf den sich die Prognose bezieht, abgeschlossen ist (vgl. Makridakis u. a., 1998, S. 15). Zur Evaluation stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, ihre Auswahl richtet sich nach der eingesetzten Prognosemethode sowie dem mit der Prognose verfolgten Zweck (vgl. Armstrong, 2001a, S. 455 ff.). Durch die im Rahmen der Evaluation gewonnenen Erkenntnisse kann die Auswahl der Methoden iterativ verfeinert werden (vgl. Crone, 2010, S. 156), ferner dient sie dem relativen Vergleich der Ergebnisse verschiedener Prognosemethoden (vgl. Armstrong, 2001d, S. 709). Auf Basis der Ergebnisse eines solchen Vergleichs kann die Methode mit dem kleinsten relativen Prognosefehler identifiziert werden, diese findet schließlich in der letzten Stufe der Prognosephase zur Erstellung der im Rahmen des Planungsprozesses benötigten Prognose **Anwendung** (vgl. Crone, 2010, S. 156). Die Ergebnisse der erstellten Prognose finden Anwendung in der anschließenden Bewertungsphase des Planungsprozesses (vgl. Abbildung 2-5).

Aus den Ausführungen wird deutlich, dass die Art, die zeitliche Reichweite sowie die verwendete Methode der in einem Planungsprozess durchzuführenden Prognose entscheidende Auswirkungen auf die Ausgestaltung eines Prognoseprozesses haben. Daher folgt zunächst eine Erläuterung verschiedener Arten und zeitlicher Reichweiten der Prognose, bevor anschließend näher auf verschiedene Klassen von Prognosemethoden eingegangen wird. Hierdurch wird zum einen eine Klassifizierung des im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Konzepts und zum anderen die Bewertung etablierter Prognosemethoden im Kontext des in dieser Arbeit betrachteten Prognoseproblems ermöglicht.

2.2.2.2 Prognosearten und Prognosehorizont

In der Literatur wird nach den durch die Prognose **erfassten Sachverhalten** unterschieden zwischen Umwelt- bzw. Entwicklungsprognosen, Wirkungsprognosen, Ergebnisprognosen, Prognosen über zukünftige Handlungsalternativen und Prognosen über künftig zu verfolgende Ziele (vgl. Klein & Scholl, 2011, S. 281 f.). Nur Wirkungs- und Entwicklungsprognosen aber gelten als Prognosen im engeren Sinne (vgl. Adam, 1996, S. 194; Reiß, 1989, Sp. 1632). Da der im weiteren Verlauf dieser Arbeit vorgestellte Ansatz zur Progno-

seerstellung eine Kombination aus Wirkungs- und Entwicklungsprognose darstellt, werden im Folgenden nur dieser Prognosearten näher erläutert.

Reine Wirkungsprognosen führen die zukünftige Entwicklung einer Variablen ausschließlich auf die Realisation der im Rahmen des Planungsprozesses identifizierten Alternativen zurück (vgl. Hüttner, 1986, S. 2). Prognostiziert werden die Auswirkungen der Realisierung bestimmter Alternativen auf eine zu erklärende Größe (vgl. Adam, 1996, S. 199). Bei Wirkungsprognosen ergeben sich schwerwiegende Prognosefehler häufig daraus, dass der (kausale) Zusammenhang zwischen einer zu erklärenden Größe und eines als Einflussfaktor betrachteten Parameters einer Alternative nicht oder nur unzureichend bekannt ist und die Reaktion der zu erklärenden Größe auf die Realisierung daher nur schwer abgeschätzt werden kann (vgl. Adam, 1996, S. 199 f.).

Entwicklungsprognosen hingegen treffen Aussagen über die zukünftige Entwicklung einer Variablen ausschließlich in Abhängigkeit von Daten (vgl. Adam, 1996, S. 199), d. h. von Einflussgrößen, deren Ausprägungen von einer Organisation nicht beeinflusst werden können (vgl. Kapitel 2.2.1.1). Prognosen erfolgen damit unter der Prämisse einer konstanten Politik der Organisation (vgl. Adam, 1996, S. 200). Da diese Prämisse in der Realität selten erfüllt ist und sich der Einfluss von Parametern der Organisationspolitik auf die zu prognostizierende Größe nicht von dem Einfluss der Daten separieren lässt, entstehen bei reinen Entwicklungsprognosen insbesondere nicht aggregierter Größen schwerwiegende Prognosefehler (vgl. Adam, 1996, S. 200 f.).

Eine *Kombination* der reinen Wirkungsprognose und der Entwicklungsprognose liegt vor, wenn Aussagen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung einer Variablen sowohl auf Basis nicht beeinflussbarer Daten als auch aufgrund der Realisierung identifizierter Alternativen durch eine Organisation getroffen werden (vgl. Adam, 1996, S. 200).

Neben dem erfassten Sachverhalt dient die **zeitliche Reichweite** einer Prognose, d. h. der **Prognosehorizont** als weiteres Unterscheidungskriterium (vgl. Hüttner, 1986, S. 4). Differenziert wird nach diesem Kriterium zwischen *kurzfristigen*, *mittelfristigen* und *langfristigen* Prognosen (vgl. Brockhoff, 1977, S. 40; Hüttner, 1986, S. 4). Da die Einteilung grundsätzlich unter Berücksichtigung des betrachteten Problembereichs erfolgen muss (vgl. Klein & Scholl, 2011, S. 282), herrscht über die zeitliche Abgrenzung zwischen diesen drei Ausprägungen der Prognose in der Literatur allerdings keine Einigkeit (vgl. Hüttner, 1986, S. 4). In der Regel werden als kurzfristig Prognosen mit einem Horizont von bis zu einem Jahr bezeichnet, solche mit einem Horizont von mehr als einem und weniger als

drei Jahren gelten als mittelfristig und Prognosen, die sich auf drei oder mehr Jahre beziehen, gelten als langfristig (vgl. Hüttner, 1986, S. 4).¹⁴

Von besonderer Relevanz ist die Unterscheidung von Prognosen nach erfasstem Sachverhalt sowie zeitlicher Reichweite hinsichtlich der Auswahl der im Folgenden erläuterten Prognosemethoden (vgl. Brockhoff, 1977, S. 39 ff.; Chambers, Mullick, & Smith, 1971, S. 45). Wird z. B. das Ziel einer mit zunehmendem Prognosehorizont gleichbleibenden Prognosequalität verfolgt, so sind die zur Prognose verwendeten Methoden u. U. zu verändern oder auszutauschen (vgl. Brockhoff, 1977, S. 41). Um Aussagen hinsichtlich der Eignung von Prognosemethoden zur prognostischen Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung treffen zu können, erfolgt im nächsten Kapitel eine Erläuterung von in der Literatur diskutierten Klassen von Prognosemethoden.

2.2.2.3 Prognosemethoden

Eine Prognosemethode wird als ein System verstanden, „das die beobachteten Werte der zu prognostizierenden Variablen und evtl. anderer Variablen als Elemente enthält und nach bestimmten Regeln miteinander verknüpft, um als Ergebnis der Verknüpfung Prognosewerte zu erhalten“ (Hansmann, 1983, S. 12). In der Literatur finden sich unterschiedliche Klassifikationen von Prognosemethoden (vgl. Hüttner, 1986, S. 4), die eine Orientierungshilfe zur Methodenauswahl im Rahmen eines Prognoseprozesses bieten. In der Regel wird zumindest implizit zwischen qualitativen und quantitativen Methoden unterschieden (vgl. Chambers u. a., 1971, S. 49; Hüttner, 1986, S. 4; Makridakis u. a., 1998, S. 8; Ossadnik, 2008, S. 26 f.; Standop, 2002, Sp. 1552; Streitferdt & Schaefer, 2002, Sp. 1563).¹⁵

Bei Anwendung **quantitativer Prognosemethoden** werden Aussagen hinsichtlich zukünftiger Sachverhalte auf Basis einer Verknüpfung von Variablen mithilfe mathematischer Modelle getroffen (vgl. Hansmann, 1983, S. 12; Streitferdt & Schaefer, 2002, Sp. 1563). Ihr gemeinsames Merkmal ist die zentrale Annahme der „Zeitstabilitätshypothese“ (Wild, 1982, S. 93), die unterstellt, dass „das Ursachensystem, das die in der Vergangenheit beo-

¹⁴ Klein & Scholl (2011) führen in diesem Zusammenhang an, ein Planungshorizont von zwei Jahren sei für eine im Straßenbau tätige Organisation als kurzfristig anzusehen, während eine Prognose mit dieser Reichweite im Bereich der Mikroelektronik eher als langfristig gelte (vgl. Klein & Scholl, 2011, S. 282). Zurückzuführen ist diese Unterscheidung auf einen je nach Innovationsintensität einer Branche unterschiedlichen Grad der Gültigkeit der sogenannten Zeitstabilitätshypothese (vgl. Brockhoff, 1977, S. 41). Hinsichtlich der Fristigkeit der Planung in Hochschulen vgl. Kapitel 2.3.1.

¹⁵ Chambers, Mullick, & Smith (1971) unterscheiden explizit qualitative Methoden, Zeitreihenanalysen und kausale Modelle. Die beiden letztgenannten Klassen stellen in den Klassifikationen von Hüttner (1986), Markidakis u. a. (1998), Ossadnik (2008) und Streitferdt & Schaefer (2002) Subklassen der Klasse der quantitativen Methoden dar.

bachteten Sachverhalte «produziert» hat, sich zumindest bis zu dem Zeitpunkt, auf den sich die Prognose bezieht, nicht wesentlich ändern wird“ (Wild, 1982, S. 93). Problematisch ist diese Annahme insbesondere im Hinblick auf die Prognose menschlichen Verhaltens (vgl. Klein & Scholl, 2011, S. 284). Eine entscheidende Auswirkung besteht darin, dass die Qualität der Ergebnisse quantitativer Prognosemethoden abhängt von der (in die Vergangenheit gerichteten) zeitlichen Reichweite der historischen Daten, auf deren Grundlage sie erstellt wurde, sowie dem Prognosehorizont, d. h. der zeitlichen Reichweite der Prognose in die Zukunft: Je geringer die zeitliche Reichweite der historischen Daten bzw. je größer der Prognosehorizont ist, desto unsicherer ist die Prognose (vgl. Wild, 1982, S. 94 f.). Ein entscheidender Vorteil des Einsatzes der Methoden dieser Klasse besteht in der Automatisierbarkeit der Prognoseerstellung, die einen Einsatz in Domänen erlaubt, in denen regelmäßig eine Vielzahl von Prognosen benötigt wird (Makridakis & Wheelwright, 1989, S. 315).

Nach dem Kriterium des der Prognose zugrundeliegenden Modells sind quantitative Prognosemethoden weiter zu untergliedern in solche, die auf Zeitreihenanalysen beruhen, und solche, die kausale Verfahren verwenden (vgl. Makridakis u. a., 1998, S. 10; Streitferdt & Schaefer, 2002, S. 1564). Bei auf **Zeitreihenanalysen** beruhenden Prognosen kommen z. B. die Methode des gleitenden Durchschnitts oder die Box-Jenkins-Methode zur Anwendung (vgl. Chambers u. a., 1971, S. 56 f.).¹⁶ Das Ziel der Methoden dieser Klasse ist es, Muster in der Entwicklung einer Zeitreihe, d. h. einer „chronologisch geordnete[n] Menge von Beobachtungen der jeweils zu prognostizierenden Variable“ (Bretzke, 1975, S. 126 f.) zu erkennen und durch deren Extrapolation Prognosen zu erstellen (vgl. Makridakis u. a., 1998, S. 11; Neusser, 2011, S. 3). Aus der ausschließlichen Betrachtung der historischen Beobachtungswerte einer zu prognostizierenden Größe bei Nichtbeachtung möglicher anderer Einflussgrößen (vgl. Armstrong, 1985, S. 74; Makridakis u. a., 1998, S. 11; Ossadnik, 2008, S. 27), d. h. der Reduktion auf eine einzige, nicht aussagekräftige Prognosevariable – die Zeit, resultieren Grenzen der auf Zeitreihenanalysen beruhenden Prognosemethoden (vgl. Bretzke, 1975, S. 156). Weder können auf ihrer Grundlage Auswirkungen im Rahmen der Planung auszuwählender Alternativen prognostiziert werden (vgl. Makridakis & Wheelwright, 1989, S. 51), noch ist eine Analyse der Ursachen histori-

¹⁶ Für den weiteren Gang der Arbeit ist eine detaillierte Darstellung einzelner Methoden nicht erforderlich. An dieser Stelle sollen prinzipielle Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Methoden einzelner Klassen dargestellt werden; ausführliche Erläuterungen einzelner Methoden finden sich bspw. hinsichtlich des gleitenden Durchschnitts in (Makridakis u. a., 1998, S. 89 ff.), hinsichtlich der Box-Jenkins-Methode in (Box, Jenkins, & Reinsel, 2008).

scher oder prognostizierter Ausprägungen einer Zufallsvariable möglich (vgl. Makridakis u. a., 1998, S. 11). Der Einsatz zeitreihenbasierter Prognosemethoden bietet sich folglich ausschließlich zur Erstellung von Entwicklungsprognosen (vgl. Kapitel 2.2.2.2) an. Zwei weitere Nachteile zeitreihenbasierter Prognosemethoden ergeben sich aufgrund der Annahme der Zeitstabilitätshypothese: Erstens können Saisonschwankungen, wiederkehrende Muster sowie Trends und deren Steigerungsrate in historischen Daten zwar aufgedeckt und auch prognostiziert werden, Wendepunkte und insbesondere deren zeitliches Auftreten sind allerdings nicht prognostizierbar (vgl. Chambers u. a., 1971, S. 50), da solche Strukturbrüche die Zeitstabilitätshypothese falsifizieren (vgl. Crone, 2010, S. 69).¹⁷ Zweitens sind Methoden dieser Klasse kaum geeignet für langfristige Prognosen (vgl. Chambers u. a., 1971, S. 50). Sie werden hauptsächlich eingesetzt zur kurz- bis mittelfristigen Prognose zyklischer Änderungen, Trends, Wachstumsentwicklungen und Saisonschwankungen (vgl. Streitferdt & Schaefer, 2002, Sp. 1564).

Die skizzierten Probleme werden zum Teil durch **Prognosen auf Basis kausaler Verfahren** überwunden. Diese beruhen z. B. auf Regressionsanalysen, ökonometrischen Modellen (vgl. Chambers u. a., 1971, S. 57 f.; Ossadnik, 2008, S. 27) sowie Methoden der künstlichen Intelligenz (KI), insbesondere künstlichen neuronalen Netzen (vgl. Denton, 1995, S. 17).¹⁸ Im Gegensatz zu Prognosemethoden auf Basis der Zeitreihenanalyse basieren Methoden dieser Klasse auf der Annahme, dass der zu prognostizierende Wert einer (abhängigen) Variable eine Funktion einer oder mehrerer anderer (unabhängiger) Variablen ist (vgl. Makridakis u. a., 1998, S. 10; Makridakis & Wheelwright, 1989, S. 52).¹⁹ Das Verhalten einer zu prognostizierenden Zeitreihe (abhängige Variable) wird bei Anwendung dieser Methoden somit zurückgeführt auf das Verhalten anderer Zeitreihen (unabhängige Variablen) (vgl. Hansmann, 1983, S. 125), welche in einer Kausalitätsbeziehung mit der abhängigen Variable stehen (vgl. Streitferdt & Schaefer, 2002, Sp. 1569). Dabei wird ein

¹⁷ Eine Ausnahme bilden Methoden, die Strukturbrüche implizit zulassen, wie z. B. die Methode der Exponentiellen Glättung (vgl. Crone, 2010, S. 69).

¹⁸ Detaillierte Erläuterungen finden sich hinsichtlich der Regressionsanalyse z. B. in (Abraham, 2005, S. 8 ff.), hinsichtlich des Einsatzes ökonometrischer Modelle im Rahmen der Prognose z. B. in (Allen, 2001, S. 303 ff.) und der Anwendung von künstlichen neuronalen Netzen z. B. in (Zhang, Eddy Patuwo, & Y. Hu, 1998).

¹⁹ In einer engen Interpretation der Ausführungen könnten auch Methoden der Zeitreihenanalyse als kausale Verfahren bezeichnet werden, da sie zu prognostizierende Werte einer Variable als Funktion der Zeit betrachten (vgl. Makridakis & Wheelwright, 1989, S. 52). Nach herrschender Meinung sind allerdings nur solche Methoden der Klasse der kausalen Verfahren zuzuordnen, die explizit auch andere Variablen als die Zeit in einen funktionalen Zusammenhang mit einer zu prognostizierenden Variable stellen (vgl. Makridakis & Wheelwright, 1989, S. 52).

im Zeitablauf konstanter funktionaler Zusammenhang der Variablen unterstellt (vgl. Makridakis & Wheelwright, 1989, S. 52), die Zeitstabilitätshypothese stellt demnach auch hier eine zentrale Annahme dar. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber zeitreihenbasierten Prognosemethoden besteht in der Ermöglichung von Wirkungsprognosen durch Zurückführung des Wertes abhängiger Variablen auf Ausprägungen unabhängiger Variablen (vgl. Bretzke, 1975, S. 179). Die durch verschiedene Alternativen determinierten Variablenkonstellationen und deren Auswirkungen auf den Wert einer zu prognostizierenden Variable können somit untersucht werden (vgl. Bretzke, 1975, S. 179; Makridakis u. a., 1998, S. 186). Allerdings müssen die unabhängigen Variablen zur Prognose der abhängigen Variablen bekannt sein (vgl. Hansmann, 1983, S. 126), d. h. ihre Ausprägungen sind ggf. mithilfe zeitreihenbasierter Methoden zu prognostizieren (vgl. Hansmann, 1983, S. 140), wodurch Prognosefehler entstehen oder ansteigen können (vgl. Auer & Rottmann, 2012, S. 624). Ferner besteht eine große Schwierigkeit der Prognosen auf Basis kausaler Verfahren in der Modellspezifikation, d. h. der Festlegung in das Modell einzubeziehender Variablen und deren funktionalen Zusammenhänge (vgl. Hansmann, 1983, S. 140). Voraussetzung hierfür ist ein tiefes Verständnis kausaler Zusammenhänge zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen (vgl. Armstrong, 1985, S. 245), das in der Regel auf theoretischen Erkenntnissen basiert und nicht durch statistische Auswertungen abgeleitet werden kann (vgl. Streitferdt & Schaefer, 2002, Sp. 1569). Folglich erfordert die Modellspezifikation eine umfangreiche a priori Analyse der Anwendungsdomäne (vgl. Armstrong, 1985, S. 194 ff.). Die Modellspezifikation ist darüber hinaus regelmäßig auf ihre Gültigkeit hin zu überprüfen und ggf. an sich ändernde Umweltzustände anzupassen (vgl. Chambers u. a., 1971, S. 50; Makridakis u. a., 1998, S. 302). Der Aufwand zur Erstellung von Prognosen ist bei Einsatz von Methoden dieser Klasse entsprechend hoch.

Bei Anwendung **qualitativer Prognosemethoden** treten statistisch-mathematische Methoden in ihrer Bedeutung zurück (vgl. Hansmann, 1983, S. 18). Einschätzungen und Aussagen von Experten bilden die Basis der Methoden dieser Klasse (vgl. Klein & Scholl, 2011, S. 283), es erfolgt eine verbal-argumentative Verknüpfung von Variablen (vgl. Hansmann, 1983, S. 12). Die hieraus resultierende Subjektivität ist zentrales, gemeinsames Merkmal qualitativer Prognosemethoden (vgl. Standop, 2002, Sp. 1552 f.). Zur Erstellung qualitativer Prognosen kommen z. B. die Delphi-Methode oder die Szenario-Technik zur Anwen-

derung (vgl. Hansmann, 1983, S. 18; Ossadnik, 2008, S. 27).²⁰ Der Einsatz qualitativer Prognosemethoden bietet sich vor allem dann an, wenn die Zeitstabilitätshypothese verletzt ist oder historische Daten nicht vorliegen (vgl. Makridakis u. a., 1998, S. 611). Durch eine strukturierte Erfassung und Verwendung des Wissens (mehrerer) Experten ist es möglich Strukturbrüche zu prognostizieren, ferner werden Probleme der Prognosen auf Basis kausaler Verfahren im Hinblick auf sich ändernde Kausalbeziehungen überwunden (vgl. Mentzer & Moon, 2005, S. 145). Diese Vorteile resultieren aus der Vorgehensweise von Experten bei der Prognoseerstellung. Wie verschiedene Studien zeigen, ziehen Experten regelmäßig *Analogieschlüsse*, um Prognosen zu erstellen (vgl. Goodwin & Fildes, 1999, S. 48 f.; Lee, Goodwin, Fildes, Nikolopoulos, & Lawrence, 2007, S. 379; McIntyre, Achabal, & Miller, 1993, S. 373). Analogieschlüsse stellen folglich die Grundlage qualitativer Prognosemethoden dar. Die Prognose durch Analogieschlüsse basiert auf der Erinnerung von Resultaten (z. B. Nachfragesteigerung) in der Vergangenheit realisierter Alternativen (z. B. Werbeaktionen), die den Alternativen eines aktuellen Planungsproblems ähneln und der ggf. angepassten Wiederverwendung der erinnerten Resultate als Wirkungsprognose (vgl. Lee u. a., 2007, S. 378 f.; Makridakis u. a., 1998, S. 466 ff.). Besondere Bedeutung kommt dieser Vorgehensweise insofern zu, als sie neben den oben angeführten Vorteilen auch die Möglichkeit zur Erstellung sowohl kurz-, mittel- als auch langfristiger Prognosen bietet (vgl. Makridakis u. a., 1998, S. 466 f.). Die starke Berücksichtigung subjektiver Erwartungen der an der Prognoseerstellung beteiligten Entscheidungsträger erschwert allerdings die intersubjektive Nachprüfbarkeit und macht diese in Grenzfällen sogar unmöglich (vgl. Standop, 2002, Sp. 1553). Darüber hinaus sind qualitative Prognosemethoden häufig einem Bias ausgesetzt und ihre Anwendung ist kosten- und zeitintensiv (vgl. Mentzer & Moon, 2005, S. 147 ff.). Im Gegensatz zu quantitativen Prognosemethoden erfolgt ihre Erstellung nicht automatisiert, sie eignen sich daher nicht zur Erstellung einer großen Anzahl von Prognosen (vgl. Makridakis & Wheelwright, 1989, S. 315 f.), bspw. entstünden prohibitive Kosten beim Versuch der Prognose von Lagerbeständen je Produkt und Lagerort mithilfe qualitativer Methoden (vgl. Mentzer & Moon, 2005, S. 150).

²⁰ Detaillierte Erläuterungen finden sich hinsichtlich der Delphi-Methode z. B. in (Häder, 2009) und hinsichtlich der Szenario-Technik in (Reibnitz, 1992).

2.3 Zentralität der Kapazitätsplanung in hochschulinternen Planungssystemen

2.3.1 Ausgestaltung hochschulinterner Planungssysteme

Planungssysteme in Hochschulen weisen in der Regel die Ebenen der strategischen, der taktischen und der operativen Planung auf (vgl. Küpper, 1998, S. 135 ff.). Sie sind somit als **hierarchische Planungssysteme** zu bezeichnen (vgl. Kapitel 2.2.1.2). Die konkrete Abgrenzung der Ebenen ist allerdings abhängig von Kontingenzzfaktoren einzelner Hochschulen, insbesondere von dem Reifegrad ihrer Führungssysteme; das Treffen allgemeingültiger Aussagen hinsichtlich konkreter Ausgestaltungen von Planungssystemen in Hochschulen ist folglich nicht möglich (vgl. Küpper, 1998, S. 137). Die folgenden Ausführungen haben daher keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit, vielmehr erfolgt (lediglich) eine systematische Einordnung verschiedener Planungsaufgaben und der für die Planung verantwortlichen Entscheidungsträger innerhalb von Hochschulen. Die Ausführungen vermitteln dabei ein idealtypisches Bild der hochschulinternen Planung. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird sich zeigen, dass der Planung innerhalb von Hochschulen trotz der in Kapitel 2.1.1.1 diskutierten Autonomiegewinne Grenzen durch die Gesetzgebung der Bundesländer gesetzt sind. Insbesondere ist die Ressourcenausstattung einzelner Hochschulen determiniert durch Verhandlungen zwischen einem Bundesland als Mittelgeber und Hochschulen als Mittelempfänger, die z. B. im Rahmen der in Kapitel 2.1.1.1 diskutierten Zielvereinbarungen stattfinden (vgl. Löwer, 2012, S. 16 f.). Damit liegt eine vierte, hierarchisch übergeordnete und hochschulexterne Planungsebene vor. Es ist damit zu rechnen, dass nur solche innerhalb einer Hochschule aufgestellte Pläne umgesetzt werden können, die sich in die Gesamtplanung der Mittelgeber integrieren lassen bzw. deren Umsetzung der Zielerreichung der Mittelgeber dient (vgl. Löwer, 2012, S. 16 f.). Hochschulinterne Planungen finden folglich innerhalb der von einer übergeordneten Planungsebene vorgegebenen Grenzen statt. Da das Ziel dieser Arbeit in der Fundierung hochschulinterner Planungsaufgaben besteht, wird diese vierte, übergeordnete Planungsebene jedoch nicht näher betrachtet.

Besonders die **strategische Planung** gewinnt vor dem Hintergrund der Reformprozesse der letzten 15 Jahre und deren Auswirkungen (vgl. Kapitel 2.1.1.1; 2.1.1.2) an Bedeutung für Hochschulen (vgl. Küpper, 1998, S. 137, 2010, S. 75 f.). In ihrem Rahmen erfolgt zunächst die Festlegung der strategischen Zielsetzung einer Hochschule (vgl. Küpper, 1998, S. 137), d. h. eine Konkretisierung bzw. Operationalisierung exogen vorgegebener Ziele durch die Festlegung endogener (vgl. Kapitel 2.1.1.2) Ziele. Letztere bestehen in der Regel

in der Absicht, Potenziale in Forschung, Lehre und Servicebereichen aufzubauen (vgl. Küpper, 1998, S. 137), wobei eine langfristige Betrachtung der gesamten Hochschule erfolgt (vgl. Schmidt, 2011, S. 202). Dementsprechend sollte auf der strategischen Ebene vor allem die Ausrichtung verschiedener Forschungs- und Lehrgebiete sowie die sachliche Ausstattung auf dem Aggregationsniveau der gesamten Hochschule geplant werden (vgl. Küpper, 1998, S. 137 f.). Erfolgen sollten z. B. Planungen hinsichtlich der personellen Ausstattung der Fakultäten und Institute, des Angebots an Studiengängen, der Einrichtung oder Aufgabe von Forschungsfeldern sowie der räumlichen und technisch-maschinellen Kapazitäten der Hochschule (vgl. Küpper, 1998, S. 138 f.) und die langfristige Finanzplanung (vgl. Schmidt, 2011, S. 202). Zusammenfassend finden auf dieser Planungsebene diejenigen Planungen statt, deren Ergebnisse regelmäßig Gegenstand von Zielvereinbarungen (vgl. Kapitel 2.1.1.1) sind.

Aufgabe der **taktischen Planungsebene** ist die Konkretisierung strategischer Planvorgaben (vgl. Kapitel 2.2.1.2). Der Schwerpunkt der taktischen Planungsebene einer Hochschule sollte auf der Schaffung erforderlicher Kapazitäten liegen (vgl. Küpper, 1998, S. 139). Insbesondere die Festlegung quantitativer und qualitativer Kapazitäten für Forschung, Lehre und Service durch fakultätsübergreifende Planung der Stellenstruktur sowie der Anschaffung von Hard- und Software sollten Gegenstand der Planungen auf dieser Ebene sein (vgl. Küpper, 1998, S. 139 f.). Ferner ist die Planung der Bereitstellung von Räumen – im Folgenden als „Raumplanung“²¹ bezeichnet – Aufgabe der taktischen Planungsebene (vgl. Küpper, 1998, S. 139 f.). Darüber hinaus werden auf dieser Ebene auch prozess- und finanzmittelbezogene Planungen durchgeführt (vgl. Küpper, 1998, S. 140). Hinsichtlich der Prozesse in Forschung, Lehre und Service sind z. B. die Verteilung von Forschungsaufgaben oder die Bildung von Forschungsgruppen sowie die Gestaltung von Studienplänen oder das mittelfristige Angebot an Lehrveranstaltungen zu planen (vgl. Küpper, 1998, S. 140). Finanzmittelbezogene Planungen auf taktischer Ebene betreffen insbesondere die mittelfristige interne Mittelverteilung auf Basis geeigneter Indikatormodelle (vgl. Schmidt, 2011, S. 184 f.).

Die Zuordnung von Planungsaufgaben der strategischen bzw. taktischen Ebene zu verantwortlichen Entscheidungsträgern hängt entscheidend ab von der Verteilung von Entscheidungs- und Weisungsbefugnissen auf die Mitglieder einzelner Strukturelemente einer

²¹ Der Begriff „Raumplanung“ bezieht sich auf die in der englischsprachigen Literatur unter dem Begriff „Space Management“ diskutierte Planung der Bereitstellung und Nutzung existierender Räume mit einem mittelfristigen Planungshorizont (vgl. z. B. Beyrouthy u. a., 2008, S. 2 f.).

Organisation und kann daher nur unter Berücksichtigung der konkreten Ausgestaltung der Organisationsstruktur einer Hochschule erfolgen (vgl. Küpper, 1998, S. 143 f.). Die in Kapitel 2.2.1.2 vorgeschlagene Verankerung der strategischen Planungsebene in der strategischen Spitze einer Organisation oder weiter gefasst im strategischen Management kann aufgrund des maßgeblichen Einflusses der Mitglieder des operativen Kerns in Hochschulen keine direkte Anwendung finden. Vielmehr wird eine kooperative Durchführung der Planung unter Beteiligung von Planungsabteilungen in der strategischen Spitze bzw. der Technostruktur und dem mittleren Linienmanagement sowie auch Mitgliedern des operativen Kerns vorgeschlagen (vgl. hierzu auch Küpper, 1998, S. 144 f.). Strategische Planungen in Hochschulen weisen damit einen eher dezentralen Charakter auf.

Auf der **operativen Planungsebene** einer Hochschule erfolgt unter Berücksichtigung der Vorgaben der Planungen auf strategischer und taktischer Ebene eine Festlegung operationalisierter Ziele, die kurz- bis mittelfristig verfolgt werden und z. B. die (optimale) Verteilung von Studierenden auf einzelne Lehrveranstaltungen, die (optimale) Auslastung von Raumkapazitäten oder die Art und Menge an Veröffentlichungen betreffen (vgl. Küpper, 1998, S. 145 f.). Planungen auf dieser Ebene fokussieren dementsprechend u. a. das semesterweise, überschneidungsfreie Angebot von Vorlesungen und deren Aufteilung auf einzelne Dozenten, die Durchführung von Tutorien, die Hörsaalbelegung oder die Finanzplanung bezogen auf einzelne Fachbereiche (vgl. Küpper, 1998, S. 146 f.). Da die zur Durchführung der Planung auf der operativen Ebene notwendigen Kenntnisse im Wesentlichen innerhalb einzelner Fachbereiche und Institute vorhanden sind, sollte diesen die Verantwortung für die Planung auf dieser Ebene übertragen werden (vgl. Küpper, 1998, S. 149). Entscheidungsträger im Rahmen der operativen Planung sind somit vor allem Mitglieder des operativen Kerns aber auch des mittleren Linienmanagements einer Hochschule oder – anders gefasst – Mitglieder des operativen Hochschulmanagements.

Die Zuordnung der Ebenen eines hierarchischen Planungssystems zu den Strukturelementen der Organisation Hochschule ist zur Veranschaulichung in Abbildung 2-7 grafisch dargestellt.

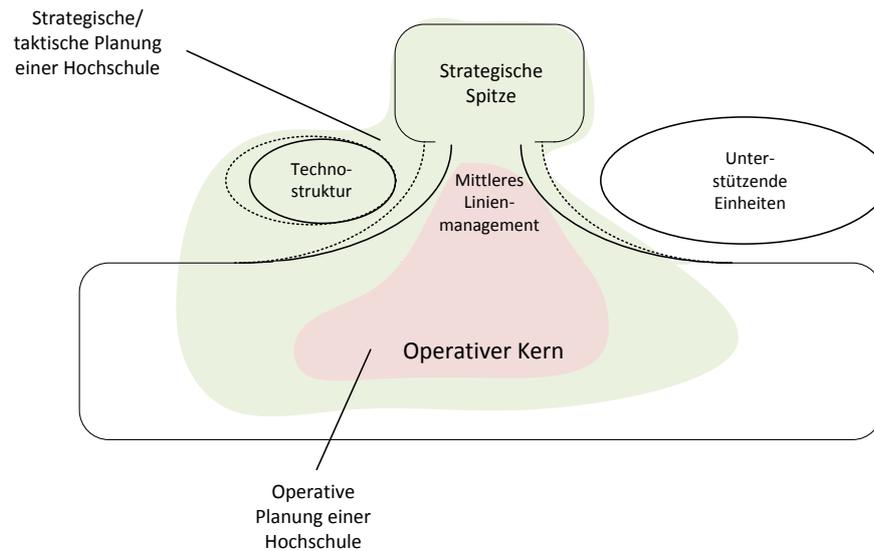


Abbildung 2-7: Ebenen eines hierarchischen Planungssystems in der Organisation Hochschule

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Mintzberg, 1983, S. 194)

2.3.2 Einordnung und Funktionen der Kapazitätsplanung

Die Ausführungen des vorigen Kapitels verdeutlichen die zentrale Stellung der Planung personeller, sachlicher sowie finanzieller Ausstattungen und deren (optimaler) Verwendung auf allen Planungsebenen eines hochschulinternen Planungssystems. Diese, die Bereitstellung und die Nutzung von Potenzialen betreffenden Planungen sollten nicht voneinander isoliert betrachtet werden (vgl. Steven, 1996, S. 874 f.). Sie werden in ihrer Gesamtheit in der Literatur unter dem Begriff „Kapazitätsplanung“ diskutiert (vgl. Corsten, 1992, S. 232–236). In diesem Kapitel wird zunächst eine Erläuterung und Einordnung der Kapazitätsplanung im Kontext industrieller Betriebe, in dem der Begriff der Kapazitätsplanung maßgeblich geprägt wurde, durchgeführt. Auf dieser Grundlage erfolgt anschließend in Kapitel 2.3.3 eine Diskussion der Besonderheiten und Aufgaben der Kapazitätsplanung in Hochschulen.

Zur Erläuterung und Einordnung der Kapazitätsplanung ist eine Auseinandersetzung mit dem – bislang in nicht näher bestimmter Weise verwendeten – Begriff der „**Kapazität**“ erforderlich. Eine in der Betriebswirtschaftslehre verbreitete Definition geht zurück auf Kern (1962), der unter Kapazität „das Leistungsvermögen einer wirtschaftlichen oder technischen Einheit – beliebiger Art, Größe und Struktur – in einem Zeitabschnitt“ (Kern, 1962, S. 27) versteht. Kern bezieht sich in seinen Ausführungen auf industrielle Fertigungskapazitäten, seine Definition ist folglich vor allem in der produktionswirtschaftlichen Forschung verbreitet, eine Übertragung auf nichtindustrielle Sektoren ist aufgrund des allgemeinen, offenen Charakters der Definition aber möglich (vgl. Klinge, 1997, S. 65). Nicht

möglich ist die *Messung der Kapazität* auf Basis dieser Definition (vgl. Betge, 1996, Sp. 852). Dazu muss eine fallbezogene Konkretisierung des Objektumfangs, der Bemessungsperiodenlänge, des Leistungsvermögens und der Maßeinheit des Kapazitätsbegriffs erfolgen (vgl. Betge, 1996, Sp. 852 f.; Kern, 1993, Sp. 1056). Der Objektumfang betrifft eine Einheit, deren Kapazität gemessen werden soll (vgl. Xylander, 2003, S. 36). Als Einheit kommen z. B. ganze Unternehmen, Arbeitsplätze, Betriebsmittel oder Maschinen in Betracht (vgl. Layer, 1979, Sp. 875 f.). Anhand der Bemessungsperiodenlänge sind Periodenkapazitäten und Totalkapazitäten zu unterscheiden (vgl. Kern, 1993, Sp. 1056). Erstere beziehen sich auf das mengenmäßige Leistungsvermögen einer Einheit während einer Planperiode, z. B. eines Tages, Monats, Quartals oder Jahres (vgl. Betge, 1996, Sp. 854). Hingegen ist die Bemessungsperiodenlänge des als Totalkapazität bezeichneten Leistungsvermögens einer Einheit deren gesamte Verfügbarkeitsdauer (vgl. Betge, 1996, Sp. 854; Kern, 1993, Sp. 1056). Das Leistungsvermögen einer Einheit bestimmt sich in der Regel durch die Synthese mehrerer Faktoren, sogenannter Kapazitätsdeterminanten (vgl. Kern, 1962, S. 44). Die größte Bedeutung kommt dabei den verfügbaren Anlagen bzw. Betriebsmitteln und dem verfügbaren Personal zu (vgl. Steven, 1996, Sp. 876), diese bilden die primären Determinanten der Kapazität (vgl. Kern, 1962, S. 44). Ferner wird das Leistungsvermögen bestimmt durch sekundäre Determinanten wie z. B. das zur Leistungserstellung gewählte Verfahren, die kombinatorische Determinante Organisation und die finanzwirtschaftliche Determinante Kapital (vgl. Kern, 1962, S. 44). Ergebnis einer Konkretisierung des Leistungsvermögens kann einerseits eine Differenzierung aufgrund der Merkmale einer Leistung in quantitative und qualitative Kapazität (vgl. Betge, 1996, Sp. 855; Layer, 1979, Sp. 873), andererseits eine Differenzierung aufgrund des Leistungsumfangs in Maximal-, Normal- und Optimalkapazität (vgl. Layer, 1979, Sp. 873 f.) sein. Das mengenmäßige Leistungsvermögen einer Einheit ist deren quantitative Kapazität (vgl. Corsten, 2000, S. 13), es kann durch Kennzahlen, z. B. durch Ausbringungsmengen oder Prozessgrößen, ausgedrückt werden (vgl. Liesegang, 2000, S. 424). Die qualitative Kapazität beschreibt die Art und Güte des Leistungsvermögens einer Einheit, z. B. die Leistungsgenauigkeit (vgl. Corsten, 2000, S. 13). Sie muss den Qualitätsanforderungen an die durch die betrachtete Einheit zu fertigenden Produkte genügen (vgl. Betge, 1996, Sp. 855). Die Maximalkapazität ist die Obergrenze des quantitativen und qualitativen Leistungsvermögens einer Einheit in einer Periode, die Normalkapazität resultiert unter Berücksichtigung von Nutzungspausen der betrachteten Einheit aus der Maximalkapazität und die Optimalkapazität stellt das wirtschaftlich optimale Leistungsvermögen dar (vgl. Betge, 1996,

Sp. 856). Als Maßgrößen quantitativer Kapazitäten kommen grundsätzlich Leistungsergebnisse, z. B. Umsätze oder Produktmengen, in Betracht (vgl. Kern, 1993, Sp. 1057). Problematisch erweist sich die Messung anhand von Leistungsergebnissen aber z. B. bei mehrstufigen Produktionsprozessen, hier müssen in der Regel Einsatzmengen, z. B. Beschäftigtenzahlen, Arbeitszeitsummen oder eingesetzte Rohstoffmengen, zur Messung der Kapazität verwendet werden (vgl. Kern, 1993, Sp. 1057 f.). Maßgrößen spiegeln das zur Verfügung stehende Leistungsvermögen – das *Kapazitätsangebot* – einer Einheit wider (vgl. Zäpfel, 1982, S. 11). Davon abzugrenzen ist die potentielle oder effektive Belegung der Kapazität, welche als *Kapazitätsnachfrage* bezeichnet wird (vgl. Zäpfel, 1982, S. 11). Diese ist in der Regel mithilfe von Prognosen zu approximieren, einzige Ausnahme bilden Situationen, in denen zum Planungszeitpunkt bereits Kundenaufträge bis zum Planungshorizont vorliegen und sich die Kapazitätsnachfrage direkt aus den Auftragsmengen bestimmt (vgl. Corsten, 1992, S. 236).

Eine *Abstimmung von Kapazitätsangebot und -nachfrage* im Sinne antizipativer Anpassungen an eine nicht konstante Kapazitätsnachfrage durch Beeinflussung der Nachfrage oder Veränderung des Angebots (vgl. Corsten, 1992, S. 242) ist eine Aufgabe der **Kapazitätsplanung** (vgl. Corsten, 1992, S. 236; Kern, 1989, Sp. 1075). Diese dient allgemein der Gestaltung und Lenkung der Kapazität einer Organisation zur möglichst optimalen Erreichung der in einem Zielsystem festgelegten Ziele (vgl. Kern, 1989, Sp. 1074 f.; Klinge, 1997, S. 152; Pack, 1993, S. 62; Schweitzer, 2003, S. 33). Als Teilsystem der Produktionsplanung eines vertikal nach Funktionsbereichen gegliederten, hierarchischen Planungssystems (vgl. Kapitel 2.2.1.2) ist die Kapazitätsplanung auf drei Planungsebenen aufgeteilt, die strategische, die taktische und die operative (vgl. Corsten, 1992, S. 233 ff.; Schweitzer, 2003, S. 33).

Aufgabe der Kapazitätsplanung auf der strategischen Planungsebene ist die Formulierung einer **Kapazitätsstrategie** (vgl. Schweitzer, 2003, S. 33 f.), die – wie alle Planungen auf dieser Ebene – einen langfristigen Fokus aufweist. Die quantitative und qualitative Kapazität einer Organisation sind in der Kapazitätsstrategie so festzulegen, dass die Wettbewerbsposition unter Beachtung des Zielsystems der Organisation in der Zukunft gehalten oder verbessert werden kann (vgl. Corsten, 1992, S. 234; Zäpfel, 1989a, S. 139). Dabei können generell Konzentrations- oder Innovationsstrategien verfolgt werden (vgl. Zäpfel, 1989a, S. 141). Durch erstere erfolgt mittels Kapazitätsreduktionen bezogen auf einzelne Arbeitsplätze, Abteilungen oder ganze Betriebe die Anpassung der Kapazität einer Organi-

sation an eine erwartete, verminderte Kapazitätsnachfrage (vgl. Zäpfel, 1989a, S. 143). Innovationsstrategien dienen durch Erweiterungen des Kapazitätsangebots rein quantitativer (additive Kapazitätserweiterung) oder sowohl quantitativer als auch qualitativer Art (synergetische Kapazitätserweiterung) der Anpassung an eine erhöhte Kapazitätsnachfrage (vgl. Zäpfel, 1989a, S. 141). Derartige Veränderungen der Kapazität einer gesamten Organisation bedeuten Investitionen bzw. Desinvestitionen und führen in der Regel zu langfristiger Kapitalbindung (vgl. Klinge, 1997, S. 155). Zur rationalen Festlegung von Kapazitätsstrategien im Sinne des Ziels einer effizienten Nutzung von Kapazitäten (vgl. Kern, 1989, Sp. 1073) sind folglich langfristige Prognosen der Kapazitätsnachfrage unabdingbar (vgl. Zäpfel, 1989a, S. 139).

Das Ziel der Kapazitätsplanung auf der taktischen Planungsebene besteht darin, die Kapazität in quantitativer als auch qualitativer Hinsicht konkret festzulegen (vgl. Corsten, 1992, S. 236; Schweitzer, 2003, S. 37). Auf taktischer Planungsebene erfolgt eine Konkretisierung der Kapazitätsstrategie, bei der die sogenannte **Kapazitätsdimensionierung** im Mittelpunkt steht (vgl. Corsten, 1992, S. 236). Im ersten Schritt der Dimensionierung von Kapazitäten ist das gegebene Kapazitätsangebot zu ermitteln (vgl. Zäpfel, 1989b, S. 129). Nachdem im zweiten Schritt die Kapazitätsnachfrage – z. B. durch Prognose – bestimmt wurde, erfolgt schließlich im dritten Schritt der Kapazitätsdimensionierung die Abstimmung von Kapazitätsangebot und -nachfrage (vgl. Zäpfel, 1989b, S. 129) z. B. durch Investitionen bzw. Desinvestitionen (vgl. Zäpfel, 1989b, S. 136). Ferner ist auch eine Abstimmung durch Maßnahmen zur Beeinflussung der Kapazitätsnachfrage denkbar (vgl. Corsten, 1992, S. 246 f.). Die Konkretisierung des Objektumfangs, für den Kapazitätsangebot und -nachfrage im Rahmen der Kapazitätsdimensionierung ermittelt und abgestimmt werden sollen, hängt vom Aggregationsniveau der Planung ab (vgl. Corsten, 1992, S. 236; Zäpfel, 1989b, S. 129), das sich zwischen einer gesamten Organisation als höchstem und einem einzelnen Arbeitsplatz als niedrigstem Niveau bewegen kann (vgl. Corsten, 1992, S. 236). Wie die Kapazitätsplanung auf der strategischen Ebene orientiert sich die auf der taktischen Ebene eng an der erwarteten zukünftigen Kapazitätsnachfrage, der Planungshorizont ist allerdings kürzer (vgl. Klinge, 1997, S. 160). Er umfasst in der Regel ein bis drei Jahre (vgl. Schweitzer, 2003, S. 39). Folglich besteht ein – hinsichtlich Prognosehorizont und Aggregationsgrad – gegenüber der Kapazitätsplanung auf strategischer Ebene divergenter Bedarf an Nachfrageprognosen. Aufgrund des kürzeren Prognosehorizonts kann im Vergleich mit der Kapazitätsplanung auf strategischer Ebene mit einer höheren Genauig-

keit der für die Kapazitätsdimensionierung notwendigen Prognosen gerechnet werden (vgl. hierzu auch Kapitel 2.2.2.2).

Die tatsächliche Kapazitätsauslastung und die Effizienz der Leistungserstellung sind in entscheidendem Maße abhängig von Kapazitätsplanungen auf operativer Ebene (vgl. Klinge, 1997, S. 161). Zentrale Aufgaben sind die Kapazitätsbelegung und die Terminplanung (vgl. Corsten, 1992, S. 236). Ziel der **Kapazitätsbelegung** ist eine möglichst maximale Auslastung vorhandener Kapazitäten (vgl. Brankamp, 1979, Sp. 882). Hierzu findet ein Kapazitätsabgleich im Sinne einer kurzfristigen Anpassung von Kapazitätsangebot und Kapazitätsnachfrage z. B. durch Verlagern der Kapazitätsnachfrage in andere Zeitperioden oder durch quantitative Erhöhung des Kapazitätsangebots statt (vgl. Brankamp, 1979, Sp. 884). Die **Terminplanung** steht mit der Kapazitätsbelegung in engem Zusammenhang (vgl. Thommen & Achleitner, 2012, S. 391). Denn Kapazitätsabgleiche – insbesondere im Sinne von Verlagerungen der Kapazitätsnachfrage in andere Zeitperioden – finden im Rahmen der Terminplanung durch Abstimmung der Termine der Inanspruchnahme einzelner Kapazitäten (z. B. Arbeitsplätze) statt (vgl. Brankamp, 1979, Sp. 897).

Die Kapazitätsplanung auf der operativen Ebene basiert auf festgelegten Kapazitäten (vgl. Corsten, 1992, S. 236; Schweitzer, 2003, S. 38) und nutzt lediglich nach auf strategischer und taktischer Ebene abgeschlossener Kapazitätsplanung noch verbleibende Planungsfreiräume aus (vgl. Schweitzer, 2003, S. 39). Durch Anpassungen des vorhandenen Kapazitätsangebots an eine – bei der Einzelfertigung z. B. durch Einzelaufträge induzierte – Kapazitätsnachfrage wird auf dieser Planungsebene eine optimale Kapazitätsnutzung sichergestellt (vgl. Corsten, 1992, S. 236; Kern, 1989, Sp. 1075). Auch Maßnahmen zur kurzfristigen Beeinflussung der Kapazitätsnachfrage sind denkbar (vgl. Corsten, 1992, S. 246 f.). Folglich haben Kapazitätsplanungen auf operativer Ebene kurzfristigen Charakter (vgl. Klinge, 1997, S. 160), der Horizont der benötigten Prognosen der Kapazitätsnachfrage ist dementsprechend kürzer als bei der Kapazitätsplanung auf der strategischen oder taktischen Planungsebene, bei hinreichend weit in die Zukunft feststehenden Aufträgen kann die Nachfrageprognose ggf. ganz entfallen.

2.3.3 Besonderheiten und Aufgaben der hochschulinternen Kapazitätsplanung

In Kapitel 2.3.2 wurde die Kapazitätsplanung als Instrument zur effizienten Leistungserstellung einer Organisation erläutert. Um der Forderung nach Steigerung der Effizienz der Leistungserstellung in Hochschulen, die mit den in Kapitel 2.1.1.1 erläuterten Reformen

einhergeht, gerecht werden zu können, sollten auch Hochschulen das Instrument der Kapazitätsplanung einsetzen. Dabei sind die vielfältigen, Kapazitäten betreffenden Planungsaufgaben auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme (vgl. Kapitel 2.3.1) zu integrieren und unter dem gemeinsamen Begriff der Kapazitätsplanung zu diskutieren. Aus den Rahmenbedingungen des Hochschulmanagements (vgl. Kapitel 2.1.1), insbesondere aus dem pluralistischen, durch exogene Ziele und Zielvereinbarungen geprägten Zielsystem (vgl. Kapitel 2.1.1.2), ergeben sich dabei besondere Anforderungen und Einschränkungen, die bei dem Einsatz der in Kapitel 2.3.2. allgemein erläuterten Kapazitätsplanung in hochschulinternen Planungssystemen zu beachten sind.

Aufgrund der engen ressourcen- und rollenförmigen Kopplung von Lehre und Forschung (vgl. Meier & Schimank, 2009, S. 58) muss eine grundlegende Einschränkung der hochschulinternen Kapazitätsplanung erfolgen. Kapazitäten können infolge dieser Kopplung nicht eindeutig dem Bereich Lehre bzw. dem Bereich Forschung zugeordnet werden (vgl. Bolsenkötter, 1976, S. 317).²² Eine zu erwartende Auswirkung der in Kapitel 2.1.1.1 vorgestellten Reformen ist zwar eine zunehmende Entkopplung beider Bereiche (vgl. Meier & Schimank, 2009, S. 44 f.), in der Realität ist eine solche Wirkung allerdings nur sehr eingeschränkt zu beobachten (vgl. Meier & Schimank, 2009, S. 45 ff.). Im Gegenteil sind Kapazitäten der Forschung nach wie vor durch Belastungen im Lehrbereich eingeschränkt (vgl. Meier & Schimank, 2009, S. 46). Folglich kann eine Kapazitätsplanung für den Bereich der Forschung nur in engem Zusammenhang mit derjenigen für den Bereich der Lehre erfolgen (vgl. Bolsenkötter, 1976, S. 317), im Extremfall wird die Planung von Kapazitäten der Forschung sogar durch die Planung von Kapazitäten der Lehre dominiert (vgl. Bolsenkötter, 1976, S. 60 f.). Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird eine solche *Dominanz der lehrbezogenen Kapazitätsplanung* angenommen, die Kapazitätsplanung im Bereich der Forschung wird daher nicht näher betrachtet.

Damit folgt diese Arbeit der in der Literatur vorherrschenden Diskussion, in der die Kapazitätsplanung im Hochschulbereich als Instrument verstanden wird, das durch administrative und rechtliche Regelungen eine Studiennachfrage mit einem – im Folgenden als

²² Eine Ausnahme stellen durch die Einwerbung von Drittmitteln aufgebaute Kapazitäten dar. Diese lassen sich grundsätzlich dem Bereich der Forschung zuordnen. Allerdings ist hier eine Tendenz zu beobachten, zumindest durch Drittmittel finanziertes Personal „zweckentfremdet“ auch zur Deckung des Lehrbedarfs zu verwenden (vgl. Meier & Schimank, 2009, S. 46), so dass eine zweifelsfreie Zuordnung dieser Kapazitäten nicht möglich ist.

„Ausbildungskapazität“²³ bezeichneten – Studienangebot abzustimmen versucht (vgl. Banscheraus, 2010, S. 40 f.; Witte & Stuckrad, 2007, S. 1). Die Studiennachfrage – im Folgenden „Kapazitätsnachfrage“ – ist dabei zu interpretieren als die Nachfrage von Studierenden nach Lehrveranstaltungen bzw. Modulen oder Klausuren, sie ist abhängig von der Anzahl der Studierenden (vgl. Hoffer, 1974, S. 82).

Im Mittelpunkt des wissenschaftlichen Diskurses steht die Untersuchung strategischer, taktischer und hochschulübergreifender Planungen, insbesondere die Steuerung der Kapazitätsnachfrage durch Festlegung von Zulassungszahlen. Diese erfolgt auf Grundlage des Kapazitätsrechts, das sich in Kapazitätsverordnungen (KapVO)²⁴ einzelner Bundesländer niederschlägt (vgl. Stich, 2010, S. 58). Sie wird daher im Folgenden als „Kapazitätsdimensionierung gemäß KapVO“ bezeichnet. Im Gegensatz zu Kapazitätsplanungen auf strategischer und taktischer Planungsebene ist die Planung tatsächlicher Kapazitätsauslastungen auf operativer Planungsebene mit dem maximalen Aggregationsniveau eines Fachbereichs kaum Gegenstand der deutschen Hochschulforschung.²⁵ Vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.1.1.1 erörterten Forderung nach einer effizienten Leistungserstellung in Hochschulen ist der Einsatz der Kapazitätsplanung auf operativer Ebene des hochschulinternen Planungssystems allerdings unabdingbar. Denn diese determiniert in entscheidender Weise die tatsächliche Kapazitätsauslastung und damit die Effizienz der Leistungserstellung (vgl. Kapitel 2.3.2). Zusätzlich gewinnt diese Ebene Relevanz aufgrund der bestehenden Parallelen zwischen der Kapazitätsplanung in Dienstleistungsunternehmen und der in Hochschulen (vgl. D. M. Johnson, 2001, S. 18). Die Kapazitätsnachfrage kann in Dienstleistungsunternehmen in der Regel nur unzureichend beeinflusst werden und aufgrund der Gleichzeitigkeit von Produktion und Konsum scheidet hier ein Aufbau von Lagerbeständen als Maßnahme zur Anpassung des Kapazitätsangebots an eine schwankende Kapazitätsnachfrage aus (vgl. Leimeister, 2012, S. 265/274). Die kurzfristige, einzelauftragsinduzierte Abstimmung von Angebot und Nachfrage (Kapazitätsbelegung und Terminplanung) gewinnt daher gegenüber der Kapazitätsplanung auf strategischer und

²³ Nach Elstermann (1971) ist die Ausbildungskapazität die größte Zahl an Studienplätzen, die eine Hochschule anbieten kann (vgl. Elstermann, 1971, S. 17).

²⁴ Im weiteren Verlauf ist stets die KapVO des Landes Niedersachsen gemeint.

²⁵ Ein ähnliches Bild zeichnet sich z. B. bezüglich der Kapazitätsplanung an Hochschulen Großbritanniens ab (vgl. Burgess, Lewis, & Mobbs, 2003, S. 216; Burgess, 1996, S. 65). Ein denkbarer Grund ist darin zu sehen, dass vor der Durchsetzung der in Kapitel 2.1.1.1 erläuterten Reformvorhaben keine Notwendigkeit eines effizienten Einsatzes der an einer Hochschule zur Verfügung stehenden Kapazitäten bestand (vgl. Burgess, 1996, S. 72) und Kapazitätsplanungen auf operativer Planungsebene daher bislang in ihrer Bedeutung zurücktraten.

taktischer Planungsebene an Bedeutung. Innerhalb von Hochschulen sind in ähnlicher Weise studentische Wahlentscheidungen hinsichtlich der Belegung von Modulen oder Klausuren – insbesondere höherer Semester – und damit die Kapazitätsnachfrage in einer Periode nur mittelbar durch Vorgabe von Rahmenstudienplänen und die Festlegung von Zulassungszahlen auf strategisch-taktischer Planungsebene beeinflussbar. Ferner ist mit Ausnahme von E-Learning Angeboten die Produktion stets durch die Gleichzeitigkeit der Erbringung (z. B. Durchführung einer Veranstaltung durch einen Dozenten) und des Konsums (z. B. Besuchen einer Veranstaltung durch eine Anzahl Studierender) geprägt. Daher schließt die folgende Diskussion der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems die operative Planungsebene explizit ein.

Auch innerhalb von Hochschulen steht die **Festlegung einer Kapazitätsstrategie** im Mittelpunkt der Kapazitätsplanung auf strategischer Planungsebene. Die Festlegung von Kapazitätsstrategien erfolgt grundsätzlich unter Berücksichtigung des Zielsystems einer Organisation (vgl. Kapitel 2.3.2). Innerhalb von Hochschulen ist folglich eine Orientierung am Zielsystem einer Hochschule und damit an Zielvereinbarungen einerseits zwischen Bundesland und Hochschule, andererseits zwischen Hochschule und Fachbereichen erforderlich. Kernbestandteil zwischen Bundesland und Hochschule getroffener Zielvereinbarungen sind regelmäßig Zulassungszahlen (vgl. Witte & Stuckrad, 2007, S. 53), d. h. die Ergebnisse der Kapazitätsdimensionierung gemäß KapVO. Folglich muss sich die Festlegung einer Kapazitätsstrategie mindestens in Teilen orientieren an den Vorgaben der KapVO, ihr sind damit Grenzen gesetzt durch das Kapazitätsrecht. Verhandlungen von Zielvereinbarungen müssen gleichzeitig aber auch auf Basis einer von der Hochschule verfolgten Kapazitätsstrategie erfolgen. Denn letztere determiniert durch die Entscheidung zur Stärkung oder Schwächung einzelner Bereiche der Hochschule im Sinne von Innovations- oder Konzentrationsstrategien das Ausmaß des zukünftig erreichbaren, durch Indikatoren zu operationalisierenden Zielerreichungsgrades. Es bestehen somit wechselseitige Beziehungen zwischen der Verhandlung von Zielvereinbarungen, der Festlegung einer Kapazitätsstrategie und der Kapazitätsdimensionierung gemäß KapVO. Innerhalb von Hochschulen ist aufgrund dieser Interdependenzen eine enge Verzahnung der Kapazitätsplanung auf strategischer und taktischer Planungsebene (vgl. Kapitel 2.2.1.2) notwendig. Eine strikte Trennung der Planungsebenen erscheint daher – auch vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.3.1 diskutierten Schwierigkeiten der Zuordnung strategischer und taktischer Planungsaufgaben zu Gruppen von Entscheidungsträgern – nicht zielführend. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird aus diesem Grund in Anlehnung an Küpper (1998) die Trennung

zwischen strategischer und taktischer Planungsebene aufgegeben und lediglich zwischen Kapazitätsplanungen auf *strategisch-taktischer* und *operativer Planungsebene* innerhalb von Hochschulen unterschieden.

Die **Kapazitätsdimensionierung** ist grundsätzlich Aufgabe der Kapazitätsplanung auf taktischer Planungsebene (vgl. Kapitel 2.3.2), innerhalb von Hochschulen ist sie damit der strategisch-taktischen Planungsebene zuzuordnen. Von zentraler Bedeutung ist bei der Kapazitätsdimensionierung in Hochschulen das sogenannte Kapazitätserschöpfungsgebot: es sind so viele Studierende zum Studium zuzulassen, dass die Ausbildungskapazität vollständig ausgeschöpft ist (vgl. Stich, 2010, S. 58). Die *Kapazitätsdimensionierung gemäß KapVO fokussiert folglich Maßnahmen zur Anpassung der Kapazitätsnachfrage* und geht von einer *starren Ausbildungskapazität* aus. Ihr herausragendes Charakteristikum ist die rechnerische Abstimmung einer Kapazitätsnachfrage auf ein Kapazitätsangebot durch Limitation von Zulassungszahlen. Dabei erfolgt eine *ausschließliche Betrachtung quantitativer Kapazitäten*: die Frage nach einer hinreichenden Qualität des Lehrangebots bleibt unbeantwortet (vgl. Weber, 2010, S. 77). Ferner ist eine Orientierung an der Maximalkapazität (vgl. Kapitel 2.3.2) charakteristisch. Diese ist mit dem Objektumfang einzelner Lehreinheiten auf Basis von Lehrdeputatstunden zu ermitteln (vgl. KapVO, 2003 § 3 Abs. 1 Nr. 1; Zimmermann, 2010, S. 10 f.), Determinanten des Kapazitätsangebots wie Räume oder Sachmittel werden lediglich zur Überprüfung des ermittelten Angebots herangezogen (vgl. KapVO, 2003 § 3 Abs. 1 Nr. 2 i.V.m. § 14 ff.). Als Maßgröße für die Kapazitätsnachfrage eines einzelnen Studierenden dient der sogenannte Curricularnormwert (CNW)²⁶ (vgl. Küpper, 2006, S. 10). Dieser ist für verschiedene Studiengänge durch die KapVO festgelegt, eine Abweichung durch eine Hochschule ist nur bedingt möglich.²⁷ Zu begründen sind Abweichungen z. B. durch schlüssige Ermittlung einer tatsächlichen Kapazitätsnachfrage (vgl. Stich, 2010, S. 70). Die Abstimmung von Kapazitätsangebot und Kapazitätsnachfrage als letzter Schritt der Kapazitätsdimensionierung erfolgt in Hochschulen mittels sogenannter Kapazitätsmodelle (vgl. Elstermann, 1971, S. 17), die vereinfacht dargestellt aus einer Division der Ausbildungskapazität durch den CNW eine Zulassungs-

²⁶ „Der Curricularnormwert bezeichnet den insgesamt erforderlichen Lehraufwand für die ordnungsgemäße Ausbildung einer oder eines Studierenden in einem Studiengang, gemessen in Deputatstunden.“ (KapVO, 2003 §13 Abs. 1).

²⁷ Zum Beispiel kann im Rahmen des u. a. in Niedersachsen diskutierten Bandbreitenmodells nur innerhalb vorgegebener Unter- und Obergrenzen eine Festlegung des CNW für einzelne Studiengänge durch eine Hochschule erfolgen (vgl. Weber, 2010, S. 82). Die Ausnutzung von Bandbreiten darf allerdings nicht zu einer Verringerung von Zulassungszahlen führen (vgl. Witte & Stuckrad, 2007, S. 52).

zahl bestimmen (vgl. Küpper, 2006, S. 10). Die Zulassungszahl stellt im Ergebnis eine Maßgröße für eine mit gegebener, quantitativer Ausbildungskapazität maximal zu befriedigende Kapazitätsnachfrage dar.

Eine weitere Besonderheit der Kapazitätsdimensionierung in Hochschulen besteht hinsichtlich der Möglichkeiten zur Anpassung der Ausbildungskapazität einzelner Bereiche, also hinsichtlich Maßnahmen zur Abstimmung von Kapazitätsangebot und -nachfrage durch *Anpassungen des Kapazitätsangebots*. Aufgrund der Möglichkeit zur flexiblen Verteilung der als Globalhaushalt zugewiesenen Mittel innerhalb einer Hochschule (vgl. Kapitel 2.1.1.1), z. B. mittels Zielvereinbarungen zwischen Hochschule und Fachbereichen, besteht grundsätzlich die Möglichkeit zur Anpassung der Ausbildungskapazität. Da diese vorrangig durch das zur Verfügung stehende, festangestellte, hochspezialisierte und zum Teil verbeamtete Personal im operativen Kern der Organisation determiniert ist, sind Anpassungen des Angebots wie die in Kapitel 2.3.1 angesprochene nachfrageorientierte und fachbereichsübergreifende Gestaltung der Stellenstruktur allerdings schwierig (vgl. Witte & Stuckrad, 2007, S. 1).

Die bisherigen Ausführungen verdeutlichen, dass die wissenschaftliche Diskussion der hochschulinternen Kapazitätsdimensionierung in der Hauptsache auf die primäre Kapazitätsdeterminante Personal abstellt. Eine an der primären Kapazitätsdeterminante der verfügbaren Anlagen orientierte Abstimmung von Kapazitätsangebot und -nachfrage erfolgt im Rahmen der auf strategisch-taktischer Planungsebene in Hochschulen stattfindenden *Raumplanung*. Diese verfolgt das Ziel, für ein oder mehrere auf den Planungszeitpunkt folgende Semester Räume bzw. Sitzplätze fachbereichsübergreifend so bereitzustellen (Festlegung des Kapazitätsangebots), dass die Nachfrage nach Räumen bzw. Sitzplätzen (Kapazitätsnachfrage) effizient befriedigt werden kann (vgl. Parkes, McCollum, McMullan, & Burke, 2009, S. 737). Eine Operationalisierung der Effizienz erfolgt dabei anhand der Kennzahl Auslastung, die mit dem durchschnittlichen Anteil belegter Sitzplätze an allen zur Verfügung stehenden Sitzplätzen approximiert wird (vgl. Beyrouthy u. a., 2007, S. 132; Parkes u. a., 2009, S. 737). Eine Steigerung der Auslastung²⁸ im Sinne einer Abstimmung von Kapazitätsangebot und -nachfrage (vgl. Kapitel 2.3.2) kann durch Maßnahmen zur Beeinflussung der Kapazitätsnachfrage oder zur Anpassung des Kapazitätsan-

²⁸ In der Literatur wird von einem perzipierten Mangel an Räumen bzw. Sitzplätzen berichtet, während empirische Untersuchungen durchschnittliche Auslastungen von nur 20-30% aufzeigen (vgl. Beyrouthy u. a., 2007, S. 130). Um Kosten zu senken und die Studienbedingungen zu verbessern, streben Hochschulen eine Steigerung der Auslastung an (vgl. Beyrouthy u. a., 2006b, S. 359 f.).

gebots erreicht werden (vgl. Beyrouthy u. a., 2008, S. 3). Um die Auslastung zu maximieren, ist hinsichtlich des Kapazitätsangebots nicht nur die Abstimmung der Gesamtzahl der Sitzplätze in allen bereitgestellten Räumen mit der gesamten Nachfrage nach Sitzplätzen entscheidend. Vielmehr ist die Bereitstellung eines nachfragegerechten Raumportfolios, d. h. einer Bandbreite an Räumen unterschiedlicher Größe (Anzahl an Sitzplätzen je Raum) und Art (Hörsaal, Seminarraum, Computerraum), von entscheidender Bedeutung (vgl. Parkes u. a., 2009, S. 739). Eine Abstimmung ist damit einerseits erforderlich zwischen der Größe – im Sinne der Anzahl an Teilnehmern – von Modulen oder Klausuren und der Anzahl an Räumen verschiedener Größe, die zur Durchführung der Module oder Klausuren bereitgestellt werden (vgl. Fizzano & Swanson, 2000, S. 293). Andererseits ist eine Abstimmung der Anzahl und Größe anzubietender Module bestimmter Art (Vorlesung, Seminar, Computer-Lab) mit der Anzahl und Größe an Räumen bestimmter Art erforderlich (vgl. Beyrouthy, Burke, McCollum, McMullan, & Parkes, 2010, S. 364). D. h. es ist eine Abstimmung von Kapazitätsangebot und -nachfrage sowohl in quantitativer als auch in struktureller Hinsicht notwendig. Um sowohl die Gesamtzahl der Sitzplätze als auch das Raumportfolio zu verändern, kommen in der Regel Maßnahmen zur Anpassung des Kapazitätsangebots zum Einsatz. Dies sind beispielsweise eine nachfrageinduzierte Festlegung der Nutzung von Räumen für bestimmte Aufgaben (vgl. Beyrouthy u. a., 2007, S. 131) oder eine ebenfalls nachfrageinduzierte Zuweisung bestimmter Räume zu einzelnen Fachbereichen.²⁹ Als Maßnahmen zur mittelfristigen Beeinflussung der Kapazitätsnachfrage kommen, neben der bereits erläuterten Festlegung von Zulassungszahlen, Änderungen von Prüfungsordnungen, insbesondere hinsichtlich Pflicht- und Wahlpflichtmodulen zum Einsatz.

Zentrale Aufgaben der Kapazitätsplanung auf operativer Planungsebene sind auch in Hochschulen die Kapazitätsbelegung und die Terminplanung (vgl. Burgess, 1996, S. 65) auf Basis des durch die Planung auf strategisch-taktischer Ebene vorgegebenen Kapazitätsangebots. Der Planungshorizont beträgt hierbei in der Regel ein akademisches Jahr oder sechs bis 18 Monate (vgl. Burgess u. a., 2003, S. 219). Vorrangiges Ziel muss die Sicherstellung des Lehrangebots bei fach-adäquatem, optimiertem Einsatz der zur Verfügung stehenden Kapazitäten sein (vgl. auch Kapitel 2.1.2.2).

²⁹ Der Neubau von Räumen bzw. Gebäuden wird nicht als Maßnahme zur Anpassung des Kapazitätsangebots im Rahmen der Kapazitätsdimensionierung betrachtet, da der hierfür erforderliche Planungshorizont in der Regel zwischen fünf und 50 Jahren liegt (vgl. Beyrouthy u. a., 2008, S. 3) und diese Maßnahme daher nicht mit dem taktischen Charakter der Kapazitätsdimensionierung vereinbar ist.

Im Rahmen der **Kapazitätsbelegung** sind zunächst auf Basis der studentischen Nachfrage die in den auf den Planungszeitpunkt folgenden Semestern anzubietenden Module und/oder Klausuren zu bestimmen (vgl. Breslaw, 1976, S. 227; Ram, Sarin, & Mallik, 1987, S. 99). Anschließend erfolgt ein Kapazitätsabgleich in Form einer *Belegung personeller Kapazitäten* durch Zuordnung von Modulen und/oder Klausuren zu geeigneten Einheiten eines Fachbereichs (z. B. Institute, Fachgebiete, Dozenten/Mitarbeiter) mit dem Ziel einer möglichst gleichmäßigen Belastung der Kapazitäten dieser Einheiten (vgl. Burgess u. a., 2003, S. 219). Probleme ergeben sich hierbei vor allem aufgrund der mit dem hohen Spezialisierungsgrad der Mitglieder des operativen Kerns einer Hochschule einhergehenden *fehlenden Substituierbarkeit der Ausbildungskapazität* zwischen einzelnen Lehrbereichen³⁰ (vgl. Burgess, 1996, S. 66). Beispielsweise kann ein Modul der Wirtschaftsinformatik nur von einem Dozenten eines Fachgebiets für Wirtschaftsinformatik angeboten werden. Darüber hinaus kann aufgrund der Gleichzeitigkeit von Produktion und Konsum im Bereich der Lehre die Kapazitätsnachfrage nicht durch die Terminplanung in andere Perioden, z. B. andere Semester, verschoben werden, um einen Kapazitätsabgleich zu realisieren.

Ferner ist die *Belegung sachlicher Kapazitäten* zu planen. Hierbei steht die Sicherstellung einer möglichst erschöpfenden Belegung der in den – durch das Raummanagement im Rahmen der Kapazitätsdimensionierung – bereitgestellten Räumen zur Verfügung stehenden Sitzplätze mit den anzubietenden Modulen oder Klausuren im Mittelpunkt (vgl. Beyrouthy u. a., 2006a, S. 229). Dabei wird im Gegensatz zum Raummanagement das Kapazitätsangebot als Datum angenommen, d. h. Maßnahmen zur kurzfristigen Anpassung des Kapazitätsangebots scheidet aus (vgl. Beyrouthy u. a., 2006a, S. 229). Zur kurzfristigen Beeinflussung der Kapazitätsnachfrage kann eine Aufteilung von Modulen oder Klausuren in mehrere Sektionen und die Zuordnung jedes einzelnen, ein Modul oder eine Klausur nachfragenden Studierenden zu einer solchen Sektion erfolgen (vgl. Beyrouthy u. a., 2006a, S. 230). Durch diese Aufteilung können einerseits kleinere Gruppengrößen etwa

³⁰ Unter einem Lehrbereich wird hier und im Folgenden eine Gruppe von Fachgebieten verstanden, die einen gewissen Homogenitätsgrad in Forschung und Lehre aufweisen, d. h. deren Mitglieder in einem Bereich, z.B. im Bereich Wirtschaftsinformatik oder im Bereich Accounting, forschen und lehren.

in Seminaren sichergestellt werden.³¹ Die Zuweisung von Modulen bestimmter Art (Vorlesung, Seminar, Computer Lab) zu Räumen geeigneter Art (Vorlesungssaal, Seminarraum, Computerraum) wird hierdurch erleichtert. Andererseits – und von entscheidender Bedeutung für die Kapazitätsbelegung – können die Maximalkapazität überschreitende Kapazitätsnachfragen (die Nachfrage nach einem Modul oder einer Klausur ist größer als die Anzahl der Sitzplätze in dem größten zur Verfügung stehenden Raum) durch Bildung von Sektionen vermieden werden (vgl. Amintoosi & Haddadnia, 2005, S. 147). Ferner lässt sich durch die Aufteilung in Sektionen die Terminplanung vereinfachen, da Terminüberschneidungen im Vergleich zu Situationen ohne Aufteilung einfacher zu vermeiden sind (vgl. Amintoosi & Haddadnia, 2005, S. 147). Auch in Hochschulen bestehen damit Interdependenzen zwischen Kapazitätsbelegung und Terminplanung, so dass von einer parallelen Durchführung beider Teilaufgaben der Kapazitätsplanung auf operativer Planungsebene auszugehen ist.

Aufgabe der hochschulinternen **Terminplanung** ist die Stundenplanung (vgl. Burgess, 1996, S. 66). Deren Ziel besteht darin, für ein oder mehrere auf den Planungszeitpunkt folgende Semester eine möglichst überschneidungsfreie³² Verteilung von Modulen oder Klausuren auf Räume und Zeiten sicherzustellen (vgl. Beyrouthy u. a., 2006a, S. 230; Schaerf, 1999, S. 88; Thompson, 2005, S. 197). Neben der Überschneidungsfreiheit, die durch Berücksichtigung der Modul- bzw. Klausurbelegungen einzelner Studierender als Nebenbedingung der Planung sichergestellt werden kann (vgl. Thompson, 2005, S. 197), muss im Rahmen der Terminplanung ebenfalls sichergestellt werden, dass Module oder Klausuren geeigneten Räumen zugewiesen werden, d. h. die Anzahl der in einem zugewiesenen Raum verfügbaren Sitzplätze muss mindestens so groß sein wie die Anzahl an Teilnehmern an einem betrachteten Modul oder einer betrachteten Klausur (vgl. Kostuch, 2005, S. 110). Ferner darf zu jedem Zeitpunkt maximal ein Modul oder eine Klausur³³ in

³¹ Zur Sicherstellung kleiner Gruppengrößen kommt zusätzlich die Festlegung einer maximalen Teilnehmerzahl je Modul in Betracht. Da sich hieraus Nachteile hinsichtlich Studiendauer und Wahlmöglichkeiten einzelner Studierender ergeben können, bspw. wenn ein Studierender ein Modul aufgrund einer Begrenzung der Teilnehmerzahl erst in einer späten Phase seines Studiums oder überhaupt nicht belegen kann, erscheint diese Maßnahme im Kontext der Belegung sachlicher Kapazitäten im Rahmen der hochschulinternen Kapazitätsplanung als wenig erstrebenswert und wird daher im Folgenden nicht näher betrachtet.

³² Als Überschneidung wird ein Zustand definiert, in dem ein Studierender mehr als ein Modul oder eine Klausur zur gleichen Zeit besuchen muss (vgl. Kostuch, 2005, S. 109).

³³ Eine Ausnahme bildet die terminliche und räumliche Zusammenlegung von mehreren Klausuren mit dem Ziel der Minimierung durch Klausuren belegter Räume. Beispielsweise könnten zwei Klausuren mit einer Teilnehmerzahl von jeweils 50 Studierenden zur gleichen Zeit im gleichen Raum mit 100 Sitzplätzen stattfinden, sofern keiner der Teilnehmer an beiden Klausuren teilnehmen muss.

einem Raum stattfinden (vgl. Kostuch, 2005, S. 110; vgl. Schaerf, 1999, S. 100 f.). Hier zeigt sich die enge Beziehung zur Kapazitätsbelegung.

Da zum Zeitpunkt der Durchführung von Kapazitätsbelegung und Terminplanung in der Regel noch keine Informationen hinsichtlich der studentischen Nachfrage nach einzelnen Modulen oder Klausuren in Form von verbindlichen Anmeldungen vorliegen – sowohl Kapazitätsbelegung als auch Terminplanung finden an vielen Hochschulen mindestens ein halbes Jahr vor Beginn eines betrachteten Semesters statt (vgl. Burgess u. a., 2003, S. 219; Kraft & Jarvis, 2005, S. 1) – sind Nachfrageprognosen zur Durchführung der Planung unerlässlich (vgl. Kraft & Jarvis, 2005, S. 1).

Aufgrund der entscheidenden Bedeutung der Kapazitätsplanung auf operativer Planungsebene für eine effiziente Leistungserstellung in Hochschulen steht die Unterstützung dieser Planungsebene im Mittelpunkt dieser Arbeit. Die Unterstützung erfolgt im Sinne einer *prognostischen Fundierung der Planung durch die Prognose von Kapazitätsnachfragen*. Denn die Ermittlung einer zu erwartenden Kapazitätsnachfrage durch Prognosen ist elementarer Bestandteil der Kapazitätsplanung (vgl. auch Kapitel 2.3.2). Die Fundierung der Kapazitätsplanung auf strategisch-taktischer Ebene stellt einen zweiten Schwerpunkt der Arbeit dar. Aufgrund der diskutierten systemimmanenten Grenzen z. B. der Festlegung der Kapazitätsstrategie einer Hochschule oder der Kapazitätsdimensionierung gemäß KapVO kann die Prognose der Kapazitätsnachfrage insbesondere auf dieser Ebene nur einen von mehreren Bausteinen der informatorischen Fundierung darstellen und muss bspw. um Informationen hinsichtlich des zukünftig verfügbaren Personals oder im Rahmen von Zielvereinbarungen vereinbarten zukünftigen Mittelzuweisungen und -bindungen sowie CNWs ergänzt werden. Um eine spätere Diskussion der Anwendbarkeit des in dieser Arbeit vorgestellten Konzepts auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme zu ermöglichen, wird der Prognosebedarf verschiedener Entscheidungsträger sowohl auf strategisch-taktischer als auch auf operativer Planungsebene, mithin der Bedarf hinsichtlich prognostizierter Informationen im Rahmen der hochschulinternen Kapazitätsplanung im folgenden Kapitel diskutiert.

3 Analyse des Prognosebedarfs und des Einsatzpotenzials ausgewählter Prognosemethoden zur Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung

In Kapitel 2.3 wurde die zentrale Stellung der Kapazitätsplanung in hochschulinternen Planungssystemen verdeutlicht. Wie jede Planung ist aufgrund ihres strukturell-präskriptiven Charakters auch die Kapazitätsplanung in Hochschulen durch Prognosen zu fundieren. Aus den in Kapitel 2.3.2 diskutierten Eigenschaften der Kapazitätsplanung im Allgemeinen sowie den in Kapitel 2.3.3 dargestellten Eigenschaften und Besonderheiten der Kapazitätsplanung in Hochschulen im Speziellen resultiert ein zwischen der strategisch-taktischen und der operativen Planungsebene sowohl hinsichtlich des Prognosehorizonts und Aggregationsniveaus als auch hinsichtlich der mit der Prognose zu unterstützenden Entscheidungsträger divergenter Prognosebedarf. Die folgenden Kapitel dienen einerseits der Deduktion dieses Bedarfs aus den in den vorigen Kapiteln erläuterten Charakteristika der Planung, insbesondere den Rahmenbedingungen, Eigenschaften und Besonderheiten der hochschulinternen Kapazitätsplanung, wobei eine Einschränkung auf die Prognose von Nachfragegrößen erfolgt. Andererseits wird die Konzeption eines innovativen Artefakts zur Nachfrageprognose durch die Analyse von Einsatzpotenzialen und Grenzen bisher in der Literatur dokumentierter Prognosemethoden zur Unterstützung des Hochschulmanagements motiviert.

3.1 Prognostische Fundierung der Kapazitätsplanung auf strategisch-taktischer Ebene des hochschulinternen Planungssystems

3.1.1 Prognosebedarf zur Festlegung einer Kapazitätsstrategie

Die Festlegung einer Kapazitätsstrategie erfolgt auf der strategisch-taktischen Planungsebene einer Hochschule (vgl. Kapitel 2.3.3). Sowohl Prognosehorizont, Aggregationsniveau der Prognose als auch durch Prognosen zu unterstützende Entscheidungsträger sind daher aus den Charakteristika der strategischen und taktischen Planungsebene im Allgemeinen (vgl. Kapitel 2.2.1.2), der strategisch-taktischen Planungsebene in Hochschulen (vgl. Kapitel 2.3.1) und den Teilaufgaben der Kapazitätsplanung auf der strategischen und taktischen Planungsebene (vgl. Kapitel 2.3.2) im Speziellen bzw. aus den hieraus resultierenden Anforderungen an die Prognose abzuleiten.

Als Aufgabe der strategisch-taktischen Planungsebene fällt die Festlegung der Kapazitätsstrategie in das Aufgabengebiet von *Entscheidungssträgern* sowohl des *strategischen* als auch des *operativen Hochschulmanagements* (vgl. Kapitel 2.3.1).

Planungen auf dieser Ebene weisen im Allgemeinen einen mittel- bis langfristigen Planungshorizont auf (vgl. Kapitel 2.2.1.2). Die Festlegung einer Kapazitätsstrategie als spezielle Teilaufgabe der Kapazitätsplanung ist eher als strategisch zu charakterisieren und weist in der Regel einen langfristigen Planungshorizont auf (vgl. Kapitel 2.3.2). Da der Planungshorizont durch den Prognosehorizont determiniert ist (vgl. Kapitel 2.2.1.3), bedarf die Festlegung einer Kapazitätsstrategie folglich eines *langfristigen Prognosehorizonts* (*Prognosehorizont > drei Jahre*).

Planungen auf strategisch-taktischer Ebene haben in der Regel ein hohes bis mittleres Aggregationsniveau, sie betreffen die gesamte Hochschule oder ganze Fachbereiche (vgl. Kapitel 2.2.1.2; 2.3.1). Folglich werden Prognosen auf unterschiedlichen *Aggregationsniveaus* zwischen den Extrema der *gesamten Hochschule* und *einzelnen Fachbereichen* benötigt.

Die Festlegung einer Kapazitätsstrategie erfolgt grundsätzlich unter Berücksichtigung des Zielsystems einer Organisation (vgl. Kapitel 2.3.2). Neben Prognosen der Kapazitätsnachfrage (vgl. Kapitel 2.3.2) sind daher auch prognostische Informationen hinsichtlich einer möglichen Zielerreichung notwendig. Die Zielerreichung einer Hochschule wird in der Regel mithilfe von Indikatorsystemen gemessen (vgl. Kapitel 2.1.1.2). Die Ausprägungen der in diesen Systemen verwendeten *Indikatoren* sollten folglich *Gegenstand der Prognose sein*. Im Bereich der Lehre kommen u. a. folgende Indikatoren zum Einsatz: Zahl der Studierenden, Zahl der Studierenden in Regelstudienzeit, Zahl der Studierenden in den ersten zwei (oder vier) Fachsemestern, Zahl der Studienplätze (ermittelt nach KapVO, vgl. Kapitel 2.3.3) und Betreuungsrelation (vgl. Ederleh, 2003, S. 151). Diese Indikatoren dienen nicht nur der Messung der Zielerreichung, vielmehr können die drei erstgenannten Indikatoren aufgrund ihres direkten Bezugs zu Studierendenzahlen auch zur Messung der Kapazitätsnachfrage herangezogen werden. Denn die Kapazitätsnachfrage ist abhängig von der Zahl der Studierenden (vgl. Kapitel 2.3.3). Der bei der Festlegung der Kapazitätsstrategie bestehende Bedarf an Nachfrageprognosen kann folglich durch Prognosen der Ausprägungen der genannten Indikatoren gedeckt werden. Neben der Festlegung einer Kapazitätsstrategie in Hochschulen kann durch die Prognose der Ausprägungen dieser Indikatoren auch

die mit der Kapazitätsstrategie in einer interdependenten Beziehung stehende Verhandlung von Zielvereinbarungen unterstützt werden. Denn Indikatorsysteme kommen auch zur Leistungsbewertung im Rahmen von Zielvereinbarungen zum Einsatz (vgl. Kapitel 2.1.1.2).

Der Prognosebedarf zur Festlegung einer Kapazitätsstrategie in Hochschulen³⁴ ist in Tabelle 3-1 zusammengefasst.

Tabelle 3-1: Prognosebedarf zur Festlegung einer Kapazitätsstrategie

<i>Prognosegegenstand</i>	<i>Prognosehorizont</i>	<i>Aggregationsniveau</i>	<i>Entscheidungsträger</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Zahl der Studierenden - Zahl der Studierenden in Regelstudienzeit - Zahl der Studierenden in den ersten zwei oder vier Fachsemestern - Zahl der Studienplätze - Betreuungsrelation 	> drei Jahre	min. ein Fachbereich, max. eine Hochschule	strategisches und operatives Hochschulmanagement

3.1.2 Prognosebedarf der Kapazitätsdimensionierung

Die Kapazitätsdimensionierung als Teil der Kapazitätsplanung findet in Hochschulen wie auch die Festlegung der Kapazitätsstrategie auf strategisch-taktischer Planungsebene statt (vgl. Kapitel 2.3.3). Die Deduktion des Prognosehorizonts, des Aggregationsniveaus der Prognose und der durch Prognosen zu unterstützenden Entscheidungsträger erfolgt daher in Anlehnung an die Ausführungen des vorherigen Kapitels.

Wie die Festlegung der Kapazitätsstrategie fällt auch die Kapazitätsdimensionierung in das Aufgabengebiet von *Entscheidungsträgern* des *strategischen* und *operativen Hochschulmanagements* (vgl. Kapitel 2.3.1).

Im Gegensatz zur Festlegung der Kapazitätsstrategie hat die Kapazitätsdimensionierung aufgrund ihres eher taktischen Charakters einen mittleren Planungshorizont (vgl. Kapitel 2.3.2). Der *Prognosehorizont* sollte folglich *zwischen einem Jahr und drei Jahren* liegen (*ein Jahr < Prognosehorizont < drei Jahre*).

³⁴ Zu beachten ist hier die Einschränkung auf die Prognose von Nachfragegrößen, die den Kernprozess Lehre betreffen. Bei einer Aufgabe dieser Einschränkung ist ein Bedarf an einer Ergänzung des Prognosegegenstands um weitere Indikatoren anzunehmen.

Grundsätzlich hängt das Aggregationsniveau der Kapazitätsdimensionierung ab vom Aggregationsniveau der Planungsebene, auf der sie durchgeführt wird, und kann maximal eine gesamte Organisation und minimal einen einzelnen Arbeitsplatz betreffen (vgl. Kapitel 2.3.2). Die Kapazitätsdimensionierung weist einen eher taktischen Charakter auf (vgl. Kapitel 2.3.2). Taktische Planungen erfolgen in der Regel auf einem *mittleren Aggregationsniveau* (vgl. Kapitel 2.2.1.2). Für die Kapazitätsdimensionierung in Hochschulen kann daher grundsätzlich ein Aggregationsniveau angenommen werden, das *maximal einzelne Fachbereiche* und *minimal einzelne Fachgebiete* umfasst.

Gegenstand der hochschulinternen Kapazitätsdimensionierung sind die Steuerung der Kapazitätsnachfrage nach Maßgabe der KapVO, die Steuerung des Kapazitätsangebots durch die interne Aufteilung eines Globalhaushalts sowie das Raummanagement (vgl. Kapitel 2.3.3). Da Hochschulen bei der Steuerung der Kapazitätsnachfrage u. a. aufgrund des Kapazitätsrechts wenig Spielraum verbleibt (vgl. Kapitel 2.3.3), erscheint hinsichtlich der Steuerung nach Maßgabe der KapVO eine prognostische Fundierung lediglich im Hinblick auf die Begründung von Abweichungen von CNW sinnvoll. Zur Begründung dient z. B. die zu erwartende reale Kapazitätsnachfrage (vgl. Kapitel 2.3.3), die – wie in Kapitel 3.1.1 erläutert – mithilfe von Indikatoren, die auf Studierendenzahlen abstellenden, prognostiziert werden kann.

Diese Indikatoren kommen auch bei der hochschulinternen Verteilung von Globalhaushalten als Maßnahme zur Anpassung des personellen Kapazitätsangebots zum Einsatz, die in der Regel auf Zielvereinbarungen zwischen Hochschule und Fachbereichen basiert (vgl. Kapitel 2.1.1.1). Die Erreichung der vereinbarten Ziele im Bereich der Lehre wird dabei u. a. anhand der in Kapitel 3.1.1 genannten Indikatoren gemessen. Diese *Indikatoren* sollten somit zusätzlich zur Deckung des Bedarfs an Nachfrageprognosen auch zur Unterstützung der Verhandlung und Anwendung von Zielvereinbarungen im Rahmen der Kapazitätsdimensionierung *Gegenstand der Prognose* sein.

Die Raumplanung erfolgt unter Berücksichtigung der Kapazitätsnachfrage, d. h. der studentischen Nachfrage nach Räumen bzw. Sitzplätzen in einem oder mehreren auf den Planungszeitpunkt folgenden Semestern sowie der Nachfrage nach einem bestimmten Raumportfolio (vgl. Kapitel 2.3.3), die operationalisierbar ist durch die Zahl der Teilnehmer an Modulen oder Klausuren (im Folgenden Teilnehmerzahl). Da zum Zeitpunkt der Durchführung der Raumplanung noch keine Daten hinsichtlich der Kapazitätsnachfrage,

bspw. in Form von Anmeldungen zu Modulen oder Klausuren, vorliegen (vgl. Parkes u. a., 2009, S. 738), ist eine informatorische Fundierung durch Prognose erforderlich. Im Vergleich zur prognostischen Fundierung der oben angesprochenen Teilaufgaben der Kapazitätsdimensionierung müssen Prognosen zur Fundierung der Raumplanung auf einem anderen Aggregationsniveau erfolgen. Denn bei der Planung eines adäquaten Raumportfolios sind sowohl die insgesamt, z. B. in einem Fachbereich, erwartete Kapazitätsnachfrage im Sinne der insgesamt zu erwartenden Nachfrage nach Sitzplätzen als auch die Anzahl und Größe anzubietender Module bestimmter Art zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 2.3.3). Letztere bedingt eine Prognose der Kapazitätsnachfrage auf dem Aggregationsniveau einzelner Module oder Gruppen von Modulen bestimmter Art (im Folgenden Modulart). Zur Fundierung der Raumplanung sind folglich Prognosen sowohl auf dem *Aggregationsniveau einzelner Fachbereiche* als auch *einzelner Module* oder *Modularten* notwendig.

Der Prognosebedarf der Kapazitätsdimensionierung in Hochschulen ist in Tabelle 3-2 zusammengefasst.

Tabelle 3-2: Prognosebedarf der Kapazitätsdimensionierung

<i>Prognosegegenstand</i>	<i>Prognosehorizont</i>	<i>Aggregationsniveau</i>	<i>Entscheidungsträger</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Zahl der Studierenden - Zahl der Studierenden in Regelstudienzeit - Zahl der Studierenden in den ersten zwei oder vier Fachsemestern - Zahl der Studienplätze - Betreuungsrelation - Teilnehmerzahl* 	<ul style="list-style-type: none"> > ein Jahr, < drei Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> - min. ein Fachgebiet, max. ein Fachbereich - ein Fachbereich, ein Modul, oder eine Modulart* 	strategisches und operatives Hochschulmanagement

*nur bei der Raumplanung

3.2 Prognostische Fundierung der Kapazitätsplanung auf operativer Ebene des hochschulinternen Planungssystems

3.2.1 Prognosebedarf der Kapazitätsbelegung

Die Kapazitätsbelegung ist in Hochschulen eine Teilaufgabe der Kapazitätsplanung auf operativer Planungsebene (vgl. Kapitel 2.3.3). Prognosehorizont, Aggregationsniveau der Prognose und durch Prognosen zu unterstützende Entscheidungsträger sind daher aus den Charakteristika dieser Ebene der Planung im Allgemeinen (vgl. Kapitel 2.2.1.2) sowie der operativen Planungsebene in Hochschulen (vgl. Kapitel 2.3.1) und der Kapazitätsplanung

auf operativer Planungsebene (vgl. Kapitel 2.3.2) im Speziellen bzw. den hieraus resultierenden Anforderungen an die Prognose abzuleiten.

Als Teilaufgabe der Kapazitätsplanung auf operativer Planungsebene fällt die Kapazitätsbelegung in das Aufgabenspektrum von *Entscheidungsträgern des operativen Hochschulmanagements* (vgl. Kapitel 2.3.1). In der Literatur werden insbesondere Entscheidungsträger des mittleren Linienmanagements, nämlich *Dekanatsmitglieder* und *Studiengangkoordinatoren*, als Entscheidungsträger der Kapazitätsbelegung genannt (vgl. Partovi & Arinze, 1995, S. 245). Da *Mitglieder des operativen Kerns* deutscher Hochschulen Personal- und Budgetverantwortung tragen (vgl. Kapitel 2.1.2.2) und sie damit für die Belegung von Kapazitäten innerhalb ihres Fachgebiets z. B. durch Zuweisung einzelner Aufgaben an Mitarbeiter verantwortlich sind, werden auch sie in dieser Arbeit als für die Kapazitätsbelegung relevante Entscheidungsträger betrachtet. Nachfrageprognosen zur Fundierung der Kapazitätsbelegung müssen folglich *alle Mitglieder des operativen Hochschulmanagements* adressieren.

Die Kapazitätsplanung auf operativer Planungsebene weist grundsätzlich einen kurzfristigen Planungshorizont auf (vgl. Kapitel 2.3.2). Innerhalb von Hochschulen beträgt er in der Regel ein akademisches Jahr oder sechs bis 18 Monate (vgl. Kapitel 2.3.3). Der *Prognosehorizont* sollte dementsprechend ebenfalls zwischen sechs und 18 Monaten liegen, d. h. *mindestens ein und maximal drei Semester* umfassen.

Das *Aggregationsniveau* von Planungen auf operativer Ebene ist niedrig, fokussiert werden einzelne Teilbereiche einer Organisation (vgl. Kapitel 2.2.1.2). Aufgabe der Kapazitätsbelegung ist in Hochschulen einerseits der Abgleich der Kapazitätsnachfrage mit dem personellen Kapazitätsangebot verschiedener Einheiten eines Fachbereichs wie z. B. Instituten, Fachgebieten oder Dozenten/Mitarbeitern durch Zuordnung von anzubietenden Modulen oder Klausuren zu diesen Einheiten (vgl. Kapitel 2.3.3). Andererseits ist die kurzfristige Beeinflussung der Kapazitätsnachfrage z. B. durch Aufteilung von Modulen oder Klausuren in einzelne Sektionen und Zuweisung von Studierenden zu diesen Sektionen zur Sicherstellung einer möglichst hohen Auslastung sachlicher Kapazitäten Aufgabe der Kapazitätsbelegung (vgl. Kapitel 2.3.3). Kapazitätsnachfragegrößen sind zur Unterstützung der Kapazitätsbelegung folglich *maximal* auf dem Aggregationsniveau eines *Fachbereichs*, *mindestens* auf dem eines *Moduls oder einer Klausur* zu prognostizieren. Bei der *Belegung personeller Kapazitäten* sind allerdings die Auswirkungen der fehlenden Substituierbarkeit

der Ausbildungskapazität zwischen einzelnen Lehrbereichen (vgl. Kapitel 2.3.3) zu beachten, das maximale Aggregationsniveau sollten hier *einzelne Lehrbereiche* darstellen.

Voraussetzung für die Durchführung der Kapazitätsbelegung ist die Kenntnis der Kapazitätsnachfrage, d. h. der studentischen Nachfrage nach einzelnen Modulen oder Klausuren (vgl. Ram u. a., 1987, S. 99; Kapitel 2.3.3), d. h. der Teilnehmerzahl. Letztere ist *Gegenstand der Prognose* zur Unterstützung der Kapazitätsbelegung.

Der Prognosebedarf der Kapazitätsbelegung in Hochschulen ist in Tabelle 3-3 zusammengefasst.

Tabelle 3-3: Prognosebedarf der Kapazitätsbelegung

<i>Prognosegegenstand</i>	<i>Prognosehorizont</i>	<i>Aggregationsniveau</i>	<i>Entscheidungsträger</i>
- Teilnehmerzahl	>=sechs Monate, <= 18 Monate	- min. ein Modul oder eine Klausur, max. ein Fachbereich (Belegung sachlicher Kapazitäten) - min. ein Modul oder eine Klausur, max. ein Lehrbereich (Belegung personeller Kapazitäten)	operatives Hochschulmanagement

3.2.2 Prognosebedarf der Terminplanung

Die Terminplanung innerhalb von Hochschulen steht mit der Kapazitätsbelegung in engem Zusammenhang und ist ebenfalls eine Teilaufgabe der Kapazitätsplanung auf operativer Planungsebene (vgl. Kapitel 2.3.3). Die Deduktion von Prognosehorizont, Aggregationsniveau der Prognose sowie durch Prognosen zu unterstützender Entscheidungsträger orientiert sich daher an den Ausführungen des vorherigen Kapitels.

Zu unterstützende *Entscheidungsträger* und der *Prognosehorizont* sind identisch mit denen der Kapazitätsbelegung, d. h. Prognosen müssen *alle Mitglieder des operativen Hochschulmanagements* adressieren und einen Horizont von *ein bis drei Semestern* aufweisen (vgl. Kapitel 3.2.1).

Aufgabe der Terminplanung ist die Erstellung eines aus Sicht von Studierenden und Dozenten möglichst überschneidungsfreien Stundenplans unter Berücksichtigung der notwendigen Größe und Art der für die einzuplanenden Module oder Klausuren benötigten Räume

(vgl. Kapitel 2.3.3). Zur Zuordnung von Modulen oder Klausuren zu einem geeigneten Raum ist die Kenntnis der *Teilnehmerzahl* des Moduls oder der Klausur notwendig. Überschneidungen werden hervorgerufen durch die parallele Terminierung mehrerer von einem Studierenden zu besuchender Module oder Klausuren und können durch Berücksichtigung *individueller Modul- bzw. Klausurbelegungen* vermieden werden (vgl. Kapitel 2.3.3). Als Sammelbegriff individueller Modul- und Klausurbelegungen im Zeitablauf dient im weiteren Verlauf der Arbeit der Begriff *Studienverlauf*, der eine *Menge an Semestern*, in denen ein Studierender *Module oder Klausuren eines Studiengangs* belegt, beschreibt. Sollen individuelle Studienverläufe prognostiziert werden, ist folglich eine Prognose der Modul- oder Klausurbelegung je Studierendem, Semester und Studiengang zu prognostizieren. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Abhängigkeit der Ausgestaltung eines individuellen Studienverlaufs sowohl von *Anforderungen, die aus Prüfungsordnungen resultieren*, als auch von *individuellen studentischen Präferenzen*, z. B. hinsichtlich des Belegungszeitpunkts, der Auswahl und der Kombination von Wahlpflichtmodulen oder -klausuren und auch hinsichtlich des Zeitpunkts der Belegung an Pflichtmodulen oder -klausuren.

Zur Fundierung der Terminplanung sind zusammenfassend einerseits Prognosen mit dem *Aggregationsniveau eines Moduls oder einer Klausur* und dem *Gegenstand der Teilnehmerzahl* sowie andererseits mit dem *Aggregationsniveau eines Studierenden* und dem *Gegenstand belegter Module oder Klausuren* notwendig (siehe auch Tabelle 3-4).

Tabelle 3-4: Prognosebedarf der Terminplanung

<i>Prognosegegenstand</i>	<i>Prognosehorizont</i>	<i>Aggregationsniveau</i>	<i>Entscheidungsträger</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Teilnehmerzahl (Zuordnung von Räumen) - belegte Module oder Klausuren (überschneidungsfreie Zuordnung von Zeiten) 	>=sechs Monate, <= 18 Monate	<ul style="list-style-type: none"> - ein Modul oder eine Klausur (Zuordnung von Räumen) - ein Studierender (überschneidungsfreie Zuordnung von Zeiten) 	operatives Hochschulmanagement

3.3 Einsatzpotenzial und Grenzen ausgewählter Prognosemethoden zur Deckung des Prognosebedarfs

Nachdem mit dem vorangegangenen Kapitel die Stufe der Problemformulierung eines Prognoseprozesses (vgl. Kapitel 2.2.2.1) mit dem Ergebnis, dass auf allen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems Prognosen von Studierendenzahlen benötigt werden,

abgeschlossen wurde, dient dieses Kapitel der Vorbereitung der Stufen der Informationsbeschaffung und der Methodenauswahl. Dazu erfolgt eine Analyse der Einsatzpotenziale und Grenzen in der Literatur dokumentierter Prognosemethoden zur Fundierung hochschulinterner Planungen durch prognostizierte Studierendenzahlen. Besondere Berücksichtigung erfährt dabei der in Kapitel 3.1 und 3.2 erläuterte Prognosebedarf bzw. die Prüfung des Potenzials etablierter Prognosemethoden zur Deckung des Bedarfs sämtlicher Teilaufgaben der hochschulinternen Kapazitätsplanung.

Zur Prognose von Studierendenzahlen ist eine Vielzahl an Methoden dokumentiert. Gegenstand der Prognose ist in der Regel die Anzahl an Einschreibungen auf einem mittleren bis hohen Aggregationsniveau, z. B. einer gesamten Hochschule (vgl. Balachandran & Gerwin, 1973, S. 823; Kraft & Jarvis, 2005, S. 1). Ein Grund dafür kann in der auf die strategisch-taktische sowie hochschulübergreifende Planungsebene fokussierten Diskussion der Hochschulplanung (vgl. Kapitel 2.3.3) gesehen werden, zu deren Fundierung aggregierte Prognosen mit mittlerem bis hohem Prognosehorizont notwendig sind (vgl. Kapitel 3.1). Beschrieben wird vorrangig der Einsatz quantitativer Prognosemethoden, Studien zum Einsatz qualitativer Prognosemethoden sind selten (vgl. Brinkman & McIntyre, 1997, S. 72 ff.).

3.3.1 Prognosen von Studierendenzahlen und Teilnehmerzahlen auf Basis quantitativer Prognosemethoden

Zur Gruppe der **quantitativen Prognosemethoden** zählen *auf Markov-Ketten basierende Prognosen der Verteilung von Studierenden auf verschiedene definierte Zustände*. Diese sind die zur Fundierung von hochschulinternen Planungsaufgaben in der Literatur am weitesten verbreiteten Prognosemethoden (vgl. z. B. Bessent & Bessent, 1980; Britney, 1975; Harden & Tchong, 1971; Johnstone & Philp, 1973; Kwak u. a., 1986). Definierte Zustände sind z. B. Vollzeitstudierender, Teilzeitstudierender, beurlaubter Studierender, Absolvent oder Studienabbrecher (vgl. Kwak u. a., 1986, S. 312). Der Studienverlauf jedes Studierenden wird hier – annähernd ähnlich der Definition aus Kapitel 3.2.2, die dieser Arbeit zugrunde liegt – als Wechsel von Zuständen zu diskreten Zeitpunkten interpretiert, ein Vollzeitstudierender wechselt z. B. am Ende eines Semesters in den Zustand eines beurlaubten Studierenden (vgl. Kwak u. a., 1986, S. 312). Zwischen den Zuständen bestehen bestimmte, für alle Studierenden als konstant angenommene Übergangswahrscheinlichkeiten, die durch eine Analyse historischer Studienverläufe ermittelt und in einer Übergangs-

matrix zusammengefasst werden (vgl. Kwak u. a., 1986, S. 312). Um die Verteilung von Studierenden auf definierte Zustände zu prognostizieren, werden zunächst für alle Studierenden (z. B. eines Fachbereichs oder einer Hochschule) die Zustände, in denen sie sich zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung befinden, ermittelt (vgl. Kwak u. a., 1986, S. 313). Diese Ausgangszustände werden anschließend über alle Studierenden aggregiert und in einen Zeilenvektor überführt (vgl. Kwak u. a., 1986, S. 313). Aus der Multiplikation der Übergangsmatrix mit diesem Zeilenvektor resultiert ein neuer Zeilenvektor, der eine Prognose der Anzahl an Studierenden in einzelnen Zuständen für den auf den Zeitpunkt der Prognoseerstellung folgenden Zeitabschnitt darstellt (Kwak u. a., 1986, S. 313). Dies sei in Anlehnung an Kwak, Brown & Schiederjans (1986) anhand eines Beispiels erläutert: In einem Szenario mit drei definierten Zuständen seien zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t 40 Studierende im Zustand Vollzeitstudierender (V), vier Studierende im Zustand Teilzeitstudierender (T) und fünf Studierende im Zustand beurlaubt (B). Der resultierende Zeilenvektor ist $[40 \ 4 \ 5]$. Auf Basis einer semesterweisen Analyse historischer Daten wurde die folgende Matrix der Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den definierten Zuständen erstellt:

	<i>V</i>	<i>T</i>	<i>B</i>
den erstellt: <i>V</i>	0,655	0,058	0,119
<i>T</i>	0,333	0,193	0,088
<i>B</i>	0,755	0,078	0,167

Aus der Multiplikation der Matrix mit dem Zeilenvektor resultiert der neue Zeilenvektor $[31,307 \ 3,483 \ 5,947]$. Letzterer ist als Prognose der Belegung der Zustände durch Studierende im Zeitpunkt $t + 1$ (im Semester, das auf den Zeitpunkt der Prognoseerstellung folgt) zu interpretieren. In $t + 1$ befinden sich 31,307 Studierende im Zustand Vollzeitstudierender, 3,483 im Zustand Teilzeitstudierender und 5,947 im Zustand beurlaubt. Aus einer Multiplikation des Ergebnisvektors mit der Übergangsmatrix resultiert die Prognose der Belegung von Zuständen für $t + 2$ (vgl. Kwak u. a., 1986, S. 313), der Prognosehorizont lässt sich folglich beliebig erweitern.

Auf Markov-Ketten basierende Prognosemethoden scheinen aufgrund ihres Prognosegegenstands, Aggregationsniveaus und des flexiblen Prognosehorizonts grundsätzlich zur prognostischen Fundierung der Festlegung einer Kapazitätsstrategie geeignet. Zur Fundierung anderer Teilaufgaben der Kapazitätsplanung in Hochschulen sind allerdings Erweiterungen notwendig:

Balachandran & Gerwin (1973) stellen eine Erweiterung vor, die Prognosen der Anzahl an Studierenden auf dem Aggregationsniveau einzelner Module, mithin der Teilnehmerzahl, erlaubt. Sie definieren $B(j)$ als die Menge aller Kombinationsmöglichkeiten von Modulen, durch die die Voraussetzungen zur Teilnahme an einem Modul j erfüllt sind (vgl. Balachandran & Gerwin, 1973, S. 825 f.). Zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t wird die Summe aller Studierenden, die aufgrund ihres Studienverlaufs bis t im Zeitabschnitt $t + 1$ an Modul j grundsätzlich teilnehmen dürfen, aggregiert über alle Zustände $b \in B(j)$ ermittelt und als $X_t(j)$ bezeichnet (vgl. Balachandran & Gerwin, 1973, S. 826). Durch eine semesterweise Analyse historischer Daten wird der Anteil $p_t(j)$ an $X_t(j)$ ermittelt, der in $t + 1$ tatsächlich das Modul j belegen wird (vgl. Balachandran & Gerwin, 1973, S. 826). Übergangswahrscheinlichkeiten werden hier also nicht für jeden einzelnen Zustand b sondern aggregiert über alle $b \in B(j)$ ermittelt. Die Multiplikation von $X_t(j)$ mit $p_t(j)$ resultiert in einer Prognose der Teilnehmerzahl an Modul j in $t + 1$ (vgl. Balachandran & Gerwin, 1973, S. 826). Einen ähnlichen Ansatz verfolgen Ram u. a. (1987). Sie ermitteln allerdings keine Übergangswahrscheinlichkeiten sondern interpretieren $X_t(j)$ direkt als Nachfrage nach dem Modul j in $t + 1$ (vgl. Ram u. a., 1987, S. 101), d. h. als Prognose der Teilnehmerzahl von Modul j .

Gemeinsam ist den skizzierten Ansätzen die Erstellung von Prognosen auf Basis durch Analysen historischer Studierendendaten abgeleiteter Kausalitätsbeziehungen, nämlich der Wahrscheinlichkeit des Übergangs zwischen verschiedenen Zuständen. Prognosen mithilfe von Markov-Ketten können somit unter die *auf kausalen Verfahren basierenden Prognosemethoden* (vgl. Kapitel 2.2.2.3) subsumiert werden. Eine prognostische Fundierung der Festlegung einer Kapazitätsstrategie, der Kapazitätsdimensionierung, der Kapazitätsbelegung und der Zuordnung von Räumen im Rahmen der Terminplanung erscheint aufgrund des Prognosegegenstands, des Aggregationsniveaus und des flexiblen Prognosehorizonts mittels der vorgestellten Ansätze grundsätzlich möglich. Allerdings wird die Annahme im Zeitablauf konstanter Übergangswahrscheinlichkeiten getroffen (vgl. z. B. Kwak u. a., 1986, S. 316), die Prognosen mithilfe von Markov-Ketten basieren folglich auf der zentralen Annahme der Zeitstabilitätshypothese. Zyklische Schwankungen von Übergangswahrscheinlichkeiten können zwar im Rahmen der Analyse historischer Daten aufgedeckt und beispielsweise in Form verschiedener Übergangsmatrizen für Sommer- (SS) und Wintersemester (WS) bei der Prognose berücksichtigt werden (vgl. Kwak u. a., 1986, S. 313), nicht aber Strukturbrüche im Sinne plötzlich auftretender Änderungen von Übergangs-

wahrscheinlichkeiten. Darüber hinaus ist eine Prognose von Studienverläufen individueller Studierender durch diese Methode nicht möglich. Denn die ermittelten Übergangswahrscheinlichkeiten werden als *konstant für alle Studierenden* angenommen (vgl. Kwak u. a., 1986, S. 316), so dass *individuelle studentische Präferenzen unberücksichtigt bleiben*. Qualitativ hochwertige Prognosen im Sinne niedriger Prognosefehler sind daher ausschließlich bei der Anwendung der Methode mit höherem Aggregationsniveau zu erwarten (vgl. Kwak u. a., 1986, S. 316). Eine Fundierung der überschneidungsfreien Zuordnung von Modulen zu Zeiten im Rahmen der Terminplanung auf Basis dieser Prognosemethode scheidet folglich aus. Denn hierzu werden Prognosen der Modulbelegung auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender benötigt (vgl. Kapitel 3.2.2). Darüber hinaus ist die Annahme der Konstanz von Übergangswahrscheinlichkeiten über alle Studierenden ausschließlich bei homogenen Studierendengruppen haltbar (vgl. Kwak u. a., 1986, S. 316). Bei einem hochschulweiten Einsatz von Markov-Ketten zur Prognose von Studierendenzahlen, z. B. zur prognostischen Fundierung der Festlegung einer Kapazitätsstrategie, erscheint daher eine Vorgehensweise notwendig, die an die von Kwak u. a. (1986) vorgeschlagene Aufstellung verschiedener Übergangsmatrizen für verschiedene Semester angelehnt ist. Beispielsweise könnte je Studiengang eine Übergangsmatrix aufgestellt werden, um die geforderte Homogenität der betrachteten Studierendengruppen sicherzustellen. Aufgrund der hieraus resultierenden Komplexitätssteigerung im Sinne einer Vervielfachung der notwendigen Übergangsmatrizen und der damit einhergehenden Erhöhung des Aufwands sowohl der Erstellung des Prognosemodells als auch der Prognoseerstellung scheidet eine hochschulweite Anwendung dieser Prognosemethode insbesondere vor dem Hintergrund der Vielzahl an im Rahmen des Bologna-Prozesses neu eingeführten, spezialisierten Studiengängen aus. Eine Fundierung der Kapazitätsplanung auf allen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme ist mit dem Einsatz von Markov-Ketten aufgrund der genannten Grenzen nicht erreichbar. Dieser Ansatz wird daher nicht weiter verfolgt.

Kraft & Jarvis (2005) schlagen eine *an die auf Markov-Ketten basierenden Prognosemethoden angelehnte Methode* vor. Zur Prognose von Teilnehmerzahlen einzelner Module mit einem Prognosehorizont von einem Semester werden Studierende zunächst anhand ihrer persönlichen Eigenschaften und ihres Studienverlaufs bis zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t in disjunkte Gruppen g gruppiert (vgl. Kraft & Jarvis, 2005, S. 1 f.). Für alle g wird anschließend durch Analyse historischer Studierendendaten die Wahrscheinlichkeit $p_g(j)$ für die Teilnahme der Gruppenmitglieder an einem spezifischen Modul j ermittelt

(vgl. Kraft & Jarvis, 2005, S. 2). Wie bei den auf Markov-Ketten basierenden Prognosemethoden kommen also auch hier Zustände (Gruppen) und Übergangswahrscheinlichkeiten ($p_g(j)$) zum Einsatz. Allerdings wird nicht die Annahme eines konstanten $p_g(j)$ getroffen, vielmehr wird die Übergangswahrscheinlichkeit für jedes auf t folgende Studienjahr neu berechnet (vgl. Kraft & Jarvis, 2005, S. 2 f.). Schließlich wird durch Multiplikation der Anzahl an Studierenden jeder Gruppe g mit dem für $t + 1$ berechneten $p_g(j)$ und anschließende Aggregation der Ergebnisse der Multiplikation über alle Gruppen die Anzahl der Studierenden in Modul j in $t + 1$ prognostiziert (vgl. Kraft & Jarvis, 2005, S. 2 f.). Die Autoren behaupten, grundsätzlich sei eine Prognose auch auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender möglich (vgl. Kraft & Jarvis, 2005, S. 2/6). Den Nachweis treten sie allerdings nicht an. Die Fundierung sowohl der Terminplanung als auch der Kapazitätsbelegung mithilfe dieser Methode erscheint aufgrund des Prognosehorizonts und des Aggregationsniveaus der Prognose grundsätzlich möglich. Allerdings ist für jedes Modul, für das Teilnehmerzahlen prognostiziert werden sollen, eine spezifische Gruppierung der Studierenden vorzunehmen und für jede der spezifischen Gruppen die Wahrscheinlichkeit $p_g(j)$ zu schätzen (vgl. Kraft & Jarvis, 2005, S. 2 f.). Aufgrund des damit verbundenen Aufwands scheidet die Prognose der Teilnehmerzahl für eine große Anzahl an Modulen, z. B. für alle Module einer Hochschule, aus. Auch die von den Autoren in Aussicht gestellte Prognose auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender erscheint wenig realistisch. Denn hierbei ist ein ähnlich hoher Aufwand wie bei der Prognose auf Modulebene (Gruppierung der Studierenden und Ermittlung der Übergangswahrscheinlichkeiten je Gruppe und Modul) zu erwarten und individuelle Präferenzen könnten aufgrund der über Gruppen von Studierenden konstanten Übergangswahrscheinlichkeiten nicht berücksichtigt werden. Die Methode ist folglich zur Fundierung der Kapazitätsplanung auf allen Ebenen hochschulinterner Planungsebenen ungeeignet.

Neben Prognosen mithilfe von Markov-Ketten bzw. daran angelehnter Methoden sind vereinzelt *auf Kohortenanalysen basierende Methoden zur Prognose von Studierendenzahlen* dokumentiert (vgl. z. B. Gaither u. a., 1981; Render, 1977; Suslow, 1977). Sie dienen der Prognose von Studierendenzahlen auf hohem Aggregationsniveau, z. B. dem einer Hochschule (vgl. Gaither u. a., 1981, S. 219). Dazu werden für einzelne Kohorten von Studierenden, d. h. Gruppen von Studierenden, die zum gleichen Zeitpunkt ihr Studium begonnen haben, Muster in einer Zeitreihe von Rückmeldequoten analysiert und durch Extrapolation

dieser Muster Prognosen erstellt (vgl. Gaither u. a., 1981, S. 219 ff.). Es handelt sich hierbei folglich um eine quantitative, *auf einer Zeitreihenanalyse basierende Prognosemethode*. Methoden dieser Klasse eignen sich nicht für langfristige Prognosen (vgl. Kapitel 2.2.2.3), zur Fundierung der Festlegung einer Kapazitätsstrategie scheidet die Kohortenanalyse daher aus. Eine Anwendung der Methode auf einem niedrigeren Aggregationsniveau, wie z. B. einem Fachbereich oder einem Modul, ist ebenfalls nicht sinnvoll, da verlässliche Prognosen im Sinne eines kleinen Prognosefehlers in der Regel nur bei Analyse großer Datenbestände zu erwarten sind (vgl. Gaither u. a., 1981, S. 219). Wie die Prognose mithilfe von Markov-Ketten besteht eine zentrale Annahme der auf Kohortenanalysen basierenden Methoden in der Zeitstabilitätshypothese. Das Rückmeldeverhalten wird für alle Studierenden und über verschiedene Kohorten als konstant angenommen (vgl. Suslow, 1977, S. 27). Individuelle studentische Präferenzen bleiben damit unberücksichtigt. Aufgrund dieser Grenzen scheidet auch die auf Kohortenanalysen beruhenden Prognosemethoden als Methode zur Fundierung der Kapazitätsplanung auf allen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme aus und ihr Einsatz wird nicht weiter verfolgt.

Gaither u. a. (1981) diskutieren neben dem Einsatz von Kohortenanalysen zur Erstellung von Prognosen auf dem Aggregationsniveau einer Hochschule auch die Anwendung von *Regressionsanalysen zur Prognose von Studierendenzahlen* auf dem Aggregationsniveau einzelner Studienjahre und Lehrbereiche mit einem mittleren Prognosehorizont (vgl. Gaither u. a., 1981, S. 220 ff.). Sie schätzen in einem ersten Schritt durch Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate auf Zeitreihen historischer Studierendenzahlen studienjahr- bzw. lehrbereichsspezifische Regressionsgleichungen (vgl. Gaither u. a., 1981, S. 222). Aus der in einem zweiten Schritt durchgeführten Extrapolation der Regressionsgeraden resultieren Prognosen der Studierendenzahlen (vgl. Gaither u. a., 1981, S. 223). Die Fundierung der Kapazitätsbelegung durch Prognose von Studierendenzahlen auf dem Aggregationsniveau einzelner Module oder Klausuren – d. h. die Prognose von Teilnehmerzahlen – erscheint grundsätzlich durch eine einfache Variation der Methode möglich. Durch Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate auf modul- bzw. klausurspezifische Zeitreihen historischer Teilnehmerzahlen können modul- oder klausurspezifische Regressionsgleichungen ermittelt werden, mit deren Hilfe Prognosen von Studierendenzahlen auf dem Aggregationsniveau von Modulen oder Klausuren erstellbar sind. Eine Berücksichtigung individueller studentischer Präferenzen oder Studienverläufe ist bei der Anwendung dieser Methode nicht möglich, da eine ausschließliche Betrachtung von

Teilnehmerzahlen im Zeitablauf, nicht aber individueller Modul- oder Klausurbelegungen erfolgt. Zur Fundierung der überschneidungsfreien Zuordnung von Modulen auf Zeiten im Rahmen der Terminplanung ist diese Prognosemethode folglich ungeeignet. Ferner scheidet eine Fundierung der Festlegung einer Kapazitätsstrategie mithilfe dieser Methode aus, da sich auf Zeitreihenanalysen beruhende Prognosemethoden nicht für langfristige Prognosen eignen (vgl. Kapitel 2.2.2.3).

3.3.2 Prognose von Studierendenzahlen und Teilnehmerzahlen auf Basis qualitativer Prognosemethoden

Der Einsatz **qualitativer Methoden** zur Prognose von Studierenden- und Teilnehmerzahlen ist kaum dokumentiert (vgl. Brinkman & McIntyre, 1997, S. 74). Gemeinsam ist qualitativen Prognosemethoden die Konsultation mehrerer Experten sowie die Einsatzfähigkeit bei Auftreten von Strukturbrüchen oder bei fehlenden historischen Daten (vgl. Brinkman & McIntyre, 1997, S. 74; Kapitel 2.2.2.3). Die Methoden dieser Klasse eignen sich zur Fundierung der Kapazitätsplanung auf allen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme allerdings nur sehr begrenzt. Zwar ist durch die Möglichkeit zur Erstellung sowohl kurz-, mittel- als auch langfristiger Prognosen (vgl. Kapitel 2.2.2.3) eine Voraussetzung für die Bereitstellung von Prognosen mit divergierenden Horizonten für verschiedene Ebenen hochschulinterner Planungssysteme geschaffen. Allerdings erscheint die Fundierung der Kapazitätsplanung auf allen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme aufgrund der mit den Verfahren verbundenen Zeit- und Kostenintensität (vgl. Kapitel 2.2.2.3) impraktikabel. Beispielsweise müsste zur prognostischen Fundierung der Terminplanung ein Experte oder eine Gruppe von Experten auf Basis von Analogieschlüssen für jeden einzelnen an einem Fachbereich eingeschriebenen Studierenden eine Einschätzung der zu erwartenden Modulbelegungen des Studierenden abgeben. Dabei sind Kenntnisse über die jeweils relevanten Prüfungsordnungen, die Verwendbarkeit von Modulen, des Studienfortschritts einzelner Studierender und individueller studentischer Präferenzen zu berücksichtigen. Insbesondere vor dem Hintergrund der selbst für erfahrene Studienberater unüberschaubaren Menge an Kombinationsmöglichkeiten verschiedener, in mehreren Studiengängen verwendeter Module (vgl. Kapitel 2.1.1.1), der großen Menge zu beachtender studierendenspezifischer Einflussfaktoren sowie der regelmäßig großen Menge an eingeschriebenen Studierenden stellt sich diese Vorgehensweise als unrealisierbar dar.

3.3.3 Zusammenfassende Bewertung der diskutierten Methoden

Die Ausführungen der Kapitel 3.3.1 und 3.3.2 zeigen, dass bislang keine geeignete Methode zur Deckung des gesamten in den Kapiteln 3.1 und 3.2 abgeleiteten Prognosebedarfs der Kapazitätsplanung in Hochschulen existiert.

In der Literatur dokumentierte, quantitative Methoden sind in der Regel aufgrund ihres Aggregationsniveaus, ihres Prognosehorizonts oder des mit ihrer Durchführung verbundenen Aufwands nur zur Fundierung einzelner Teilaufgaben der Kapazitätsplanung geeignet. Der Prognosebedarf der überschneidungsfreien Zuordnung von Modulen auf Zeiten im Rahmen der Terminplanung ist mit keiner der genannten quantitativen Methoden zu decken, da allen quantitativen Prognosemethoden eine Berücksichtigung individueller studentischer Präferenzen fehlt, so dass individuelle Studienverläufe nicht prognostizierbar sind. Durch Einsatz qualitativer Prognosemethoden könnten zwar unterschiedliche Prognosen mit unterschiedlichem Horizont je Ebene eines hochschulinternen Planungssystems sowie mit dem Gegenstand der Modulbelegungen einzelner Studierender erstellt werden. Aufgrund der mit der fehlenden Automatisierbarkeit einhergehenden Kosten- und Zeitin- tensität der Prognoseerstellung scheiden diese Methoden allerdings ebenfalls aus. Darüber hinaus fokussieren die diskutierten Methoden die Erstellung von Prognosen. Durch erstellte Prognosen zu fundierende Planungsaufgaben werden zumeist nur oberflächlich skizziert, insbesondere erfolgt in der Regel keine Diskussion der adressierten Entscheidungsträger bzw. der Bereitstellung von Prognosen in Form verwertbarer Informationen.

Zur Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung auf allen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme bedarf es folglich eines integrierten Konzepts sowohl zur Prognose von Nachfragegrößen mithilfe einer neuen, die Grenzen bestehender Methoden überwindenden *Prognosemethode* als auch zur *Bereitstellung von Prognoseergebnissen* in von adressierten Entscheidungsträgern verwertbarer Form.

TEIL II

Entwurf eines Konzepts
zur Fundierung der Kapazitätsplanung
mit Nachfrageprognosen

4 Methodische Grundlagen des Konzepts

In Teil I der vorliegenden Arbeit wurde der Bedarf an einem integrierten Konzept zur prognostischen Fundierung hochschulinterner Kapazitätsplanungen expliziert. Die *Erörterung der methodischen Grundlagen* von Ansätzen, auf denen das in dieser Arbeit entwickelte Konzept basiert, steht im Mittelpunkt dieses Kapitels. Damit erfolgt im Sinne der gewählten Forschungsmethodik die notwendige *methodische Fundierung* der in Kapitel 5 anschließenden Diskussion des Konzepts.

Zunächst wird in Kapitel 4.1 das Konzept von Decision Support Systemen in Form einer allgemeinen Begriffsdefinition, einer kurzen Diskussion idealtypischer DSS-Komponenten sowie einer Klassifizierung von DSS erläutert. Auf dieser Grundlage werden anschließend das *Einsatzpotenzial von DSS zur prognostischen Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung* diskutiert sowie *relevante Unterstützungsleistungen* identifiziert.

In Kapitel 4.2 schließt die Diskussion des Case-based Reasoning (CBR)-Paradigmas an, wobei die Vorgehensweise äquivalent zur Diskussion von DSS ist. In den Kapiteln 4.2.2 und 4.2.3 zunächst allgemein erläuterte Konzepte der Wissensrepräsentation und des Problemlösungsprozesses in CBR-Systemen werden in Kapitel 4.2.4 *mit den besonderen Anforderungen* der Erstellung im Rahmen der hochschulinternen Kapazitätsplanung benötigter Nachfrageprognosen *konfrontiert*, um die *Eignung von CBR als DSS-Komponente* zur Problemlösung in dieser spezifischen Anwendungsdomäne zu *begründen*.

4.1 Decision Support Systeme (DSS)

4.1.1 Definition und Einordnung von DSS

Der Begriff DSS wird in der Literatur verstanden als weit gefasster Sammelbegriff für verschiedene rechnergestützte Systeme, die auf die Unterstützung von Entscheidungsträgern in organisationalen Entscheidungs- und Planungsprozessen zielen (vgl. Gluchowski u. a., 2008, S. 63; Turban, Sharda, & Delen, 2011, S. 16). Zur engeren Eingrenzung der unter DSS zu subsumierenden Systeme bietet sich eine Synthese der in verschiedenen Definitionen aufgeführten Charakteristika eines als DSS zu bezeichnenden Systems, d. h. eine Definition anhand notwendiger Merkmale, an (vgl. Sprague & Carlson, 1982, S. 6). Auf diese Weise lässt sich aus den Definitionen von Bonczek, Holsapple & Whinston (1981), Keen & Scott Morton (1978) sowie Sprague & Carlson (1982) die folgende Definition von DSS

ableiten: DSS sind *interaktive Informationssysteme*, die durch die *Bereitstellung von Modellen* oder *Analysemethoden* sowie *problembezogenen Daten* (vgl. Keen & Scott Morton, 1978, S. 1; Sprague & Carlson, 1982, S. 6) Entscheidungsträger in *semi- oder unstrukturierten Entscheidungssituation* unterstützen (vgl. Bonczek u. a., 1981, S. 18; Keen & Scott Morton, 1978, S. 1; Sprague & Carlson, 1982, S. 6) und auf eine Steigerung der *Effektivität der Entscheidungsfindung* zielen (vgl. Keen & Scott Morton, 1978, S. 1).

Von zentraler Bedeutung bei der Abgrenzung von DSS gegenüber anderen Informationssystemen, z. B. Managementinformationssystemen (MIS), ist die Fokussierung semi- oder unstrukturierter Entscheidungs- bzw. Planungssituationen. Diese zeichnen sich durch einen wenig oder nicht repetitiven Charakter, eine unspezifische oder fehlende Problemdefinition, unklare oder fehlende Methoden zur Alternativenanalyse und -bewertung sowie die Abhängigkeit der Ergebnisse einzelner Phasen des Entscheidungs- oder Planungsprozesses vom Urteilsvermögen eines Entscheidungsträgers aus (vgl. Gorry & Scott Morton, 1971, S. 61 ff.). Gorry & Scott Morton (1971) schreiben diese Eigenschaften z. B. verschiedenen Planungsaufgaben wie der Produktionsplanung oder der Haushaltsplanung zu (vgl. Gorry & Scott Morton, 1971, S. 62). Bei der Bewältigung von Aufgaben dieser Art kommt der Urteilsfähigkeit und dem problembezogenen Wissen eines Entscheidungsträgers besondere Bedeutung zu, eine vollständige Automatisierung des Entscheidungsprozesses ist daher nicht möglich oder nicht sinnvoll (vgl. Gorry & Scott Morton, 1971, S. 60; Krallmann & Rieger, 2001, S. 186). Die Unterstützungsleistung von DSS besteht in derartigen Situationen in einer Steigerung der Effektivität des Entscheidungsträgers z. B. durch die Automatisierung einzelner, strukturierter Phasen oder Teilaufgaben eines Entscheidungs- oder Planungsprozesses³⁵ und durch die Bereitstellung problemrelevanter Informationen in verwertbarer Form (vgl. Alter, 1980, S. 95 ff.).

Die Unterstützungsleistung eines spezifischen DSS ist determiniert durch dessen *Konfiguration*, d. h. durch die Ausgestaltung und das Zusammenspiel verschiedener DSS-Komponenten (vgl. Turban u. a., 2011, S. 74). Um eine zur Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung geeignete Konfiguration entwickeln zu können, werden im folgenden Kapitel zunächst die elementaren Komponenten eines DSS sowie verbreitete DSS-Methoden diskutiert.

³⁵ Die grundsätzlich auf Erhöhung der Effizienz zielende Maßnahme der (Teil-) Automatisierung steht nicht im Widerspruch zum Ziel der Erhöhung der Effektivität. Denn sie dient nicht der Ablösung des Entscheidungsträgers, sondern dessen Entlastung von Routineaufgaben, um ihm eine Konzentration auf semi- oder unstrukturierte Phasen oder Teilaufgaben des Entscheidungs- oder Planungsprozesses zu ermöglichen (vgl. Alter, 1980, S. 96 f.).

4.1.2 Komponenten eines DSS

Ein DSS besteht prinzipiell aus den Komponenten *Datenbanksystem*, *Modell- und Methodenbanksystem* und *Benutzerschnittstelle*, deren Kommunikation untereinander sowie über die Benutzerschnittstelle mit dem Benutzer durch die Komponente *Ablaufsteuerung* sichergestellt wird (vgl. Krallmann & Rieger, 2001, S. 186; Power, 2002, S. 16 f.; Sprague & Carlson, 1982, S. 29 ff.; Sprague & Watson, 1996, S. 103). Eine schematische Darstellung der Komponenten und ihres Zusammenhangs liefert Abbildung 4-1.

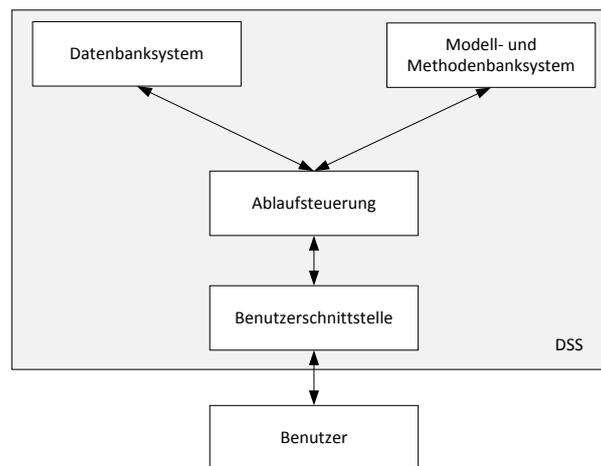


Abbildung 4-1: Komponenten eines DSS

Quelle: (Power, 2002, S. 88)

Das **Datenbanksystem** dient der Speicherung und Verwaltung *entscheidungsrelevanter Daten* (vgl. Gluchowski u. a., 2008, S. 70; Turban u. a., 2011, S. 86). Neben organisations-internen und -externen Daten, allgemeinen Planungsdaten und persönlichen Datenbeständen des Benutzers werden auch Zwischen- oder Endergebnisse (Outputgrößen) von Modellrechnungen im Datenbanksystem abgelegt (vgl. Gluchowski u. a., 2008, S. 70). Die Daten dienen einerseits der direkten Unterstützung des Benutzers z. B. durch Möglichkeiten des Datenzugriffs und andererseits als Inputgrößen in Modellrechnungen (vgl. Sprague & Watson, 1996, S. 108). Der Datenaustausch zwischen Datenbanksystem und Modell- und Methodenbanksystem sowie über die Benutzerschnittstelle mit dem Benutzer muss daher gewährleistet sein (vgl. Gluchowski u. a., 2008, S. 70). Das Datenbanksystem ist entweder als eigenständige Datenbank konzipiert, z. B. bei kleinen DSS-Projekten, oder als von einem unternehmensweiten Data Warehouse (DWH)³⁶ abhängiger, DSS-spezifischer

³⁶ Ein Data Warehouse ist eine themenorientierte, integrierte, nichtvolatile und zeitraumbezogene Datensammlung, die der Unterstützung des Managements bei dessen Entscheidungsprozessen dient (vgl. Inmon, 2002, S. 31).

Data Mart³⁷ ausgestaltet (vgl. Power, 2002, S. 89; Sprague & Watson, 1996, S. 109 ff.; Turban u. a., 2011, S. 91).

Das **Modell- und Methodenbanksystem** ermöglicht das Generieren, Auffinden, Speichern und Anpassen (verschiedener) Modelle und Methoden (vgl. Gluchowski u. a., 2008, S. 68; Sprague & Watson, 1996, S. 114 f.). Die Art der zur Verfügung gestellten Modelle hängt wesentlich von der zu unterstützenden Entscheidungssituation ab (vgl. Gluchowski u. a., 2008, S. 68 f.; Sprague & Carlson, 1982, S. 260). In der Regel stützen sich DSS auf quantitative Modelle (vgl. Turban u. a., 2011, S. 96), die z. B. Optimierungs- oder What-If-Rechnungen ermöglichen (vgl. Gluchowski u. a., 2008, S. 68). Zur Bearbeitung und Auswertung der Modelle werden im Modell- und Methodenbanksystem verschiedene Methoden vorgehalten, z. B. quantitative Methoden zur Prognoseerstellung oder komplexe Optimierungs- und Simulationsverfahren (vgl. Gluchowski u. a., 2008, S. 69). Neben quantitativen Modellen und entsprechenden Methoden kommen auch Ansätze aus der KI zum Einsatz (vgl. Turban u. a., 2011, S. 80). Das Modell- und Methodenbanksystem wird dann auch als Inferenzmaschine bezeichnet, die bspw. mithilfe von Regeln und Inferenzmechanismen Schlussfolgerungen aus den durch das Datenbanksystem³⁸ bereitgestellten Inputgrößen ableitet (vgl. Power, 2002, S. 144 f.).

Die gesamte Interaktion zwischen Benutzer und System erfolgt über die **Benutzerschnittstelle** (vgl. Sprague & Watson, 1996, S. 103; Turban u. a., 2011, S. 100). Sie umfasst sowohl Konfigurations- und Steuerungsmöglichkeiten für sämtliche Operationen des Systems als auch alternative Möglichkeiten zur Ergebnis- und Inhaltspräsentation (vgl. Sprague & Watson, 1996, S. 103). Um den Anforderungen des Benutzers, insbesondere dem oft unstrukturierten, intuitiven menschlichen Problemlösungsprozess gerecht zu werden, ist bei der Gestaltung der Benutzerschnittstelle auf starre, hierarchische Prozesssteuerungen zu verzichten und einer variablen Konfigurierbarkeit der Schnittstelle Vorzug zu gewähren (vgl. Gluchowski u. a., 2008, S. 68). Da ein DSS in der Regel mehreren Nutzern zur Verfügung steht, ist ferner eine im Hinblick auf die individuellen Nutzeranforderungen flexibel konfigurierbare Benutzerschnittstelle unabdingbar (vgl. Sprague & Carlson, 1982,

³⁷ Ein abhängiger Data Mart enthält einen strukturellen (auf bestimmte Kennzahlen oder Dimensionen reduzierten), inhaltlichen (auf bestimmte Daten reduzierten) und/oder aggregierten (auf eine bestimmte Granularität reduzierten) Extrakt eines zentralen Data Warehouse (vgl. Bauer & Günzel, 2004, S. 61 f.). Data Marts werden z. B. erstellt zur Steigerung der Abfrageperformanz, zur Realisierung analysespezifischer Datenstrukturen oder zur Realisierung spezifischer Zugriffsstrategien (vgl. Anahory, 1997, S. 116).

³⁸ Bei Einsatz von Ansätzen der KI kann das Datenbanksystem auch durch eine Wissensbasis ersetzt bzw. ergänzt werden (vgl. Power, 2002, S. 144 f.).

S. 31; Sprague & Watson, 1996, S. 104). Aufgrund ihrer Flexibilität, Nutzerfreundlichkeit und ihrer Möglichkeiten zum Abruf einer Vielzahl an Zusatzinformationen finden inzwischen Webbrowser breite Anwendung als Benutzerschnittstelle von DSS (vgl. Turban u. a., 2011, S. 100).

In Abhängigkeit von der spezifischen Ausgestaltung der in diesem Kapitel idealtypisch diskutierten Komponenten sind spezifische DSS verschiedenen Klassen zuzuordnen (vgl. Power, 2002, S. 16). Um eine fundierte Entscheidung hinsichtlich einer zur Erreichung des Gestaltungsziels dieser Arbeit geeigneten Konfiguration eines DSS treffen zu können, werden diese Klassen im folgenden Kapitel näher erläutert.

4.1.3 Klassifizierung spezifischer DSS

Zur Einordnung spezifischer DSS finden sich in der Literatur verschiedene Klassifikationsvorschläge (vgl. z. B. Alter, 1980; Holsapple & Whinston, 1996; Power & Sharda, 2009; Power, 2002). Nach Power (2002) sind spezifische DSS anhand ihres *Einsatzzwecks*, ihrer *technologischen Voraussetzungen* sowie der mit ihnen *adressierten Benutzer(gruppen)* grundsätzlich in fünf Klassen einzuteilen (vgl. Power, 2002, S. 12 ff.). Aufgrund seiner Prägnanz und der Möglichkeit zur Einordnung einer Vielzahl verbreiteter, sich durch unterschiedliche Konfigurationen auszeichnender DSS wurde der Vorschlag von Power (2002) von der Association for Information Systems Special Interest Group on Decision Support Systems (AIS SIGDSS) in geringfügig adaptierter Weise³⁹ als Referenz-Klassifikation übernommen (vgl. Turban u. a., 2011, S. 79). Aus den gleichen Gründen wird die Referenz-Klassifikation im weiteren Verlauf dieser Arbeit verwendet.

Grundsätzlich sind laut AIS SIGDSS fünf Klassen spezifischer DSS unterscheidbar:

- Kommunikationsgetriebene DSS,
- Datengetriebene DSS,
- Dokumentengetriebene DSS,
- Modellgetriebene DSS sowie
- Wissensgetriebene DSS (vgl. Turban u. a., 2011, S. 79).

Durch die Verwendung der Formulierung „getrieben“ erfolgt bereits durch die Bezeichnung der Klassen ein Hinweis auf diejenige Komponente (vgl. Kapitel 4.1.2), welche die Konfiguration der in die jeweilige Klasse einzuordnenden DSS dominiert (vgl. Power,

³⁹ Die fünf von Power (2002) vorgeschlagenen Klassen finden sich grundsätzlich auch in der Referenz-Klassifikation der AIS SIGDSS wieder, zum Teil weichen die jeweiligen Bezeichnungen der Klassen allerdings geringfügig voneinander ab (vgl. Power, 2002, S. 16; Turban, Sharda, & Delen, 2011, S. 79).

2002, S. 12). DSS, die Charakteristika mehrerer Klassen aufweisen, werden als zusammengesetzte (compound) DSS bezeichnet (vgl. Turban u. a., 2011, S. 79).

Kommunikationsgetriebene DSS dienen der Unterstützung einer *Gruppe von Entscheidungsträgern* (vgl. Power, 2002, S. 104). Die Unterstützungsleistung besteht einerseits in der Erleichterung der Zusammenarbeit innerhalb eines Teams durch Ermöglichung *zeit- und standortunabhängiger Kommunikation, Koordination* sowie *zeit- und standortübergreifenden Informationsaustauschs* z. B. mithilfe von Groupware (vgl. Power, 2002, S. 104 ff.; Turban u. a., 2011, S. 431 ff.). Andererseits zielen sogenannte Group Decision Support Systeme bspw. durch die Bereitstellung *kollaborativ einsetzbarer Entscheidungsmodelle* direkt auf die *Steigerung der Effektivität der Entscheidungsfindung in Gremien* (vgl. Power, 2002, S. 104 ff.; Turban u. a., 2011, S. 441 ff.). Zentrales Differenzierungsmerkmal der Systeme dieser Klasse ist neben der Ausrichtung auf eine Gruppe von Entscheidungsträgern der Einsatz von Kommunikationstechnologien zur Realisierung der Unterstützungsfunktionen, wobei insbesondere Web-Technologien eine besondere Bedeutung zukommt (vgl. Power, 2002, S. 104 f.).

Der Klasse der **datengetriebenen DSS** werden spezifische DSS zugeordnet, die einen Entscheidungsträger bei der *Abfrage, Analyse und Visualisierung großer Bestände an strukturierten, historisierten, organisationsinternen und -externen Daten* unterstützen (vgl. Power, 2002, S. 123 f.). Die strukturbestimmende Komponente datengetriebener DSS ist das Datenbanksystem, das bei Systemen dieser Klasse in der Regel auf einem organisationsweiten DWH aufbaut (vgl. Turban u. a., 2011, S. 80). Über eine Abfragekomponente greift ein – in der Regel webbasiertes – Analyse-Werkzeug auf das Datenbanksystem zu und stellt dem adressierten Entscheidungsträger verschiedene Funktionalitäten zur Verfügung (vgl. Power, 2002, S. 133 f.), die ein Spektrum von *einfachem Datenzugriff* bis zu *Online Analytical Processing (OLAP)* abdecken (vgl. Power, 2002, S. 13). Mit OLAP wird die dynamische, multidimensionale Analyse konsolidierter Datenbestände bezeichnet (vgl. Franconi, Baader, Sattler, & Vassiliadis, 2003, S. 87 f.), deren Grundlage eine multidimensionale Datenstruktur bildet (vgl. Bauer & Günzel, 2004, S. 102 ff.; Franconi u. a., 2003, S. 88). Unter Multidimensionalität ist eine Anordnung betriebswirtschaftlicher Größen, sogenannter Fakten, „entlang unterschiedlicher Klassen logisch zusammengehöriger Informationsobjekte“ (Gluchowski & Chamoni, 2010, S. 199), sogenannter Dimensionen, zu verstehen (vgl. Chamoni & Gluchowski, 2000, S. 334). Diese Anordnung wird als Würfel visualisiert, dessen Kanten durch Dimensionen aufgespannt und in dessen Zellen Faktwer-

te abgelegt werden (vgl. Bauer & Günzel, 2004, S. 105). Die physische Speicherung eines Würfels erfolgt im Datenbanksystem eines datengetriebenen DSS und kann grundsätzlich sowohl in relationalen (R-OLAP) als auch in multidimensionalen Datenbankmanagementsystemen (M-OLAP) erfolgen (vgl. Bauer & Günzel, 2004, S. 201). Zur Speicherung in einem relationalen Datenbankmanagementsystem ist die Abbildung multidimensionaler Strukturen auf eine oder mehrere relationale Tabellen erforderlich (vgl. Bauer & Günzel, 2004, S. 202). Prinzipien des Entwurfs relationaler Datenschemata, wie z. B. die Normalisierung, sind dabei aufgrund fehlender Möglichkeiten zur Abbildung hierarchischer Strukturen⁴⁰ und unzureichender Unterstützung flexibler, multidimensionaler Abfragen zugunsten spezieller Schemata wie dem Star- oder Snowflake Schema aufzugeben (vgl. Bauer & Günzel, 2004, S. 202 ff.; Franconi u. a., 2003, S. 93 ff.). Im Gegensatz dazu erfolgt in multidimensionalen Datenbankmanagementsystemen eine Speicherung von Daten in (mehrdimensionalen) Arrays, die eine direkte Umsetzung von Würfelstrukturen ermöglicht (vgl. Bauer & Günzel, 2004, S. 226/235 f.; Franconi u. a., 2003, S. 95 f.). Die Unterstützungsfunktionalität datengetriebener DSS resultiert bei Einsatz von OLAP aus spezifischen Operationen, die dem adressierten Entscheidungsträger zur Berichtslaufzeit eine intuitive, flexible und dynamische Navigation durch die Daten erlauben (vgl. Bauer & Günzel, 2004, S. 106; Gluchowski u. a., 2008, S. 172; Power, 2002, S. 125). Die wesentliche Operation stellt das sogenannte *Slicing* dar, das bspw. eine zweidimensionale Projektion des Datenbestandes eines dreidimensionalen Würfels erlaubt, indem eine der Dimensionen auf ein Element gefiltert wird (vgl. Chamoni & Gluchowski, 2000, S. 370), z. B. die Dimension Zeit auf das Element SS 2014. Daneben erlaubt die Operation *Dice* einem Entscheidungsträger durch Drehen bzw. Kippen eines Würfels einen Wechsel der Betrachtungsperspektive auf die Daten (vgl. Gluchowski u. a., 2008, S. 147) und die Operationen *Roll-Up* und *Drill-Down* dienen der Aggregation bzw. der Disaggregation von Daten entlang verschiedener Konsolidierungspfade einer Dimension (vgl. Bauer & Günzel, 2004, S. 107). Ergänzt werden diese spezifischen OLAP-Operationen durch klassische Berichtsfunktionalitäten wie Sortierungen oder Exception Reporting (vgl. Gluchowski u. a., 2008, S. 172).

In die Klasse der **dokumentengetriebenen DSS** werden spezifische DSS eingeordnet, die einen Entscheidungsträger bei der *Sammlung, Verwaltung, Einordnung sowie der Wieder-*

⁴⁰ Hierarchische Strukturen können innerhalb einzelner Dimensionen bestehen und ermöglichen die Betrachtung verschiedener Aggregationsniveaus von Faktdaten entlang eines definierten Konsolidierungspfades (vgl. Kemper, Baars, & Mehanna, 2010, S. 66).

auffindung von Dokumenten wie Produktbeschreibungen, Katalogen, Sitzungsprotokollen oder E-Mails unterstützen (vgl. Power, 2002, S. 14). Wie bei datengetriebenen DSS stellt das Datenbanksystem auch in der Konfiguration spezifischer DSS dieser Klasse das strukturbestimmende Merkmal dar (vgl. Power, 2002, S. 124). In der Regel basiert es auf einem sogenannten Document Warehouse⁴¹ (vgl. Power, 2002, S. 124), zu dessen Realisierung Content Management Systeme oder Document Management Systeme verwendet werden können (vgl. Kemper, Baars, & Mehanna, 2010, S. 119). Letztere bieten Unterstützungsfunktionalitäten etwa im Hinblick auf die Erfassung, Bereitstellung, Versionierung und Archivierung digitalisierter Dokumente (vgl. Kemper u. a., 2010, S. 145). Content Management Systeme bieten Unterstützungsfunktionalitäten bspw. hinsichtlich der Mehrfachverwendung von elektronischen Medien unterschiedlichen Formats wie z. B. Texten, Videosequenzen und Grafiken bei der Erstellung, Aktualisierung und Archivierung verschiedener Beiträge wie z. B. Websites oder Newsletter (vgl. Kemper u. a., 2010, S. 145). Zur Wiederauffindung der im Datenbanksystem abgelegten Dokumente dienen beispielsweise Information-Retrieval-Komponenten (vgl. Kemper u. a., 2010, S. 147).

Die Klasse der **modellgetriebenen DSS** umfasst spezifische DSS, deren Unterstützungspotenzial aus der Bereitstellung quantitativer Modelle und Möglichkeiten zur Parametrisierung dieser Modelle resultiert (vgl. Power & Sharda, 2007, S. 1044 f.; Power, 2002, S. 13). Dementsprechend stellt das Modell- und Methodenbanksystem die strukturbestimmende Komponente der Konfiguration der dieser Klasse zuzuordnenden DSS dar (vgl. Power & Sharda, 2007, S. 1045). Spezifische DSS dieser Klasse haben ein breites Einsatzspektrum und finden Anwendung zur Unterstützung z. B. der Projektplanung und -kontrolle, der Prognose, der Ablaufsteuerung und der Terminplanung (vgl. Power, 2002, S. 161). In Abhängigkeit des Einsatzzwecks eines spezifischen DSS werden im Modell- und Methodenbanksystem verschiedene Typen quantitativer Modelle⁴², wie die den in Kapitel 2.2.2.3 diskutierten quantitativen Prognosemethoden zugrundeliegenden Modelle, abgelegt (vgl. Power, 2002, S. 161 ff.). Durch Eingabe von Parameterwerten über die Benutzerschnittstelle können Entscheidungsträger verschiedene Modellkonfigurationen erzeugen, um bspw. ad-hoc What-If Analysen durchzuführen (vgl. Power & Sharda, 2007, S. 1044).

⁴¹ Ein Document Warehouse ist ein integriertes Repository, in dem Dokumente verschiedenen Typs aus heterogenen Quellen sowie dokumentbezogene Metadaten bereitgehalten werden (vgl. Sullivan, 2001, S. 10 ff.).

⁴² Power (2002) unterscheidet fünf Klassen von Modelltypen: Accounting- und Finanzmodelle, Entscheidungsanalysemodelle, Prognosemodelle, Netzwerk- und Optimierungsmodelle sowie Simulationsmodelle (vgl. Power, 2002, S. 161 ff.).

Der Klasse der **wissensgetriebenen DSS** sind alle spezifischen DSS zuzuordnen, die ihr Unterstützungspotenzial aus dem Einsatz von Verfahren der KI generieren (vgl. Turban u. a., 2011, S. 80). Mithilfe von z. B. CBR, Rule-based Reasoning (RBR) oder Data Mining leiten Systeme dieser Klasse aus problembezogenem, in maschinenverständlicher Form gespeichertem Wissen Handlungsempfehlungen für Entscheidungsträger ab (vgl. Power & Sharda, 2007, S. 1045; Power, 2002, S. 13). Die Konfiguration der spezifischen DSS dieser Klasse weist gegenüber Systemen anderer Klassen besondere Komponenten auf. Das Modell- und Methodenbanksystem ist hier als *Inferenzmaschine* zu bezeichnen, das Datenbanksystem wird durch eine *Wissensbasis* ersetzt oder ergänzt (vgl. Power, 2002, S. 144). Die dominierende Komponente ist die Inferenzmaschine. Ihre Ausgestaltung determiniert die Art der Wissensrepräsentation in der Wissensbasis sowie das Unterstützungspotenzial des spezifischen DSS (vgl. Power, 2002, S. 144).

4.1.4 Die Eignung von DSS zur prognostischen Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung

Die prognostische Fundierung der Planung im Allgemeinen und der hochschulinternen Kapazitätsplanung im Speziellen erfolgt im Rahmen der Prognosephase eines Planungsprozesses durch die *Erstellung* und *Bereitstellung* von Prognoseergebnissen zur weiteren Verwendung im Planungsprozess (vgl. Kapitel 2.2.1.3). Dazu werden die in Kapitel 2.2.2.1 erläuterten Stufen eines Prognoseprozesses durchlaufen, wobei die Stufe der „Anwendung der Methoden“ die Prognoseerstellung im engeren Sinne betrifft und die Stufe „Anwendung der Prognoseergebnisse“ im Kern die Bereitstellung bzw. Verwendung der Prognoseergebnisse umfasst. Daher steht die Analyse der Möglichkeiten und Grenzen der Unterstützung dieser beiden Stufen durch DSS unter Berücksichtigung des in Kapitel 3 erläuterten Prognosebedarfs der hochschulinternen Kapazitätsplanung im Fokus dieses Kapitels.

DSS zielen erklärtermaßen auf die Steigerung der Effektivität von Entscheidungsträgern bspw. durch Automatisierung von Teilaufgaben eines Planungsprozesses und die Bereitstellung problemrelevanter Informationen in verwertbarer Form (vgl. Kapitel 4.1.1).

Letztere kommt vorrangig für die Stufe „Anwendung der Prognoseergebnisse“ eines Prognoseprozesses in Betracht. In Planungsprozessen findet diese in der Regel in der Phase der Bewertung statt (vgl. Kapitel 2.2.1.3). Diese ist als semi-strukturiert zu charakterisieren, da ihre Ergebnisse insbesondere bei Vorliegen von Bewertungsdefekten stark von der intuiti-

ven, subjektiven Beurteilung eines Entscheidungsträgers abhängen (vgl. Kapitel 2.2.1.3). Eine Automatisierung der Stufe Anwendung der Prognoseergebnisse kommt daher nicht in Betracht. Von besonderer Bedeutung bei der Bereitstellung von Prognoseergebnissen sind im Rahmen der hochschulinternen Kapazitätsplanung die Anforderungen erstens der Versorgung diverser Entscheidungsträger mit Prognoseergebnissen, zweitens der Aggregation bzw. Disaggregation der Ergebnisse und drittens der Realisierung divergierender Prognosehorizonte jeweils in Abhängigkeit der betrachteten Ebene eines hochschulinternen Planungssystems sowie der Teilaufgabe der Kapazitätsplanung (vgl. Kapitel 3.1; 3.2). Diese Anforderungen können durch den Einsatz datengetriebener DSS auf Basis von OLAP erfüllt werden. Ihr Einsatz ermöglicht eine flexible Analyse strukturierter Daten, insbesondere erlauben spezifische OLAP Funktionalitäten wie Drill-Down/Roll-Up oder Slice die Analyse von Prognoseergebnissen auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus bzw. die Betrachtung unterschiedlicher Prognosehorizonte durch Filterung. Da die Benutzerschnittstelle datengetriebener DSS in der Regel durch webbasierte Analysewerkzeuge realisiert wird, ist die (zeitgleiche) Versorgung mehrerer Entscheidungsträger ebenfalls möglich.

Eine Automatisierung kommt insbesondere für die Erstellung von Prognosen in der vierten Stufe eines Prognoseprozesses in Betracht. Diese zeichnet sich durch die (repetitive) Anwendung zuvor vollständig spezifizierter Methoden aus (vgl. Kapitel 2.2.2.1) und ist daher als eher strukturiert zu bezeichnen.⁴³ Die Prognoseerstellung kann grundsätzlich nur bei Einsatz quantitativer Prognosemethoden automatisiert erfolgen (vgl. Kapitel 2.2.2.3). Aus deren Bereitstellung und (automatisierten oder interaktiven) Anwendung resultiert das Unterstützungspotenzial modellgetriebener DSS (vgl. Power, 2002, S. 161/167 ff.). Eine Unterstützung der vierten Stufe eines Prognoseprozesses erscheint daher mithilfe modellgetriebener DSS grundsätzlich möglich. Das Potenzial modellgetriebener DSS zur Unterstützung der prognostischen Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung ist allerdings in Ermangelung geeigneter Methoden sehr begrenzt. Wie in Kapitel 3.3 gezeigt wurde, sind die in der Literatur zur Fundierung von Planungsaufgaben innerhalb von Hochschulen vorgeschlagenen quantitativen Methoden nicht geeignet, den Prognosebedarf der Kapazitätsplanung auf allen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems zu decken. Insbesondere ist mit ihrem Einsatz eine Fundierung der Terminplanung nicht realisierbar. Der Einsatz modellgetriebener DSS wird daher nicht weiter verfolgt.

⁴³ Gorry & Scott Morton (1971) definieren Probleme, zu deren Identifikation und Lösung Algorithmen oder Entscheidungsregeln verfügbar sind, als vollständig strukturiert (vgl. Gorry & Scott Morton, 1971, S. 62).

Power (2002) schlägt zur Unterstützung der Prognoseerstellung mithilfe qualitativer Prognosemethoden den Einsatz kommunikationsgetriebener DSS vor, deren Unterstützungspotenzial in der Sammlung von Einschätzungen und Aussagen verschiedener Experten hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung von Variablen liegt (vgl. Power, 2002, S. 168). Da die insbesondere aus der fehlenden Automatisierbarkeit der Prognoseerstellung resultierenden Grenzen qualitativer Prognosemethoden zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf allen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme (vgl. Kapitel 3.3.2) durch den Einsatz kommunikationsgetriebener DSS nicht überwunden werden können, wird dieser Ansatz zur Unterstützung der Stufe „Anwendung der Methoden“ nicht weiter verfolgt.

Eine Ausnutzung der jeweiligen Vorteile qualitativer und quantitativer Prognosemethoden ist durch den Einsatz wissensgetriebener DSS erreichbar. Das Unterstützungspotenzial spezifischer DSS dieser Klasse resultiert vorrangig aus dem Einsatz von Verfahren der KI (vgl. Kapitel 4.1.3). Werden diese Verfahren zur Erstellung von Prognosen verwendet, sind sie in der Regel der Klasse der quantitativen Prognosemethoden zuzuordnen (vgl. Kapitel 2.2.2.3), einige dieser Verfahren kommen aufgrund ihrer Eigenschaften aber auch den qualitativen Prognosemethoden sehr nahe. Im Gegensatz zu den in Kapitel 2.2.2.3 diskutierten quantitativen Methoden ähnelt beispielsweise das von Power & Sharda (2007) explizit als KI-Verfahren für den Einsatz in wissensgetriebenen DSS vorgeschlagene CBR stark dem menschlichen Problemlösungsprozess auf Basis des Ziehens von Analogieschlüssen (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 40; Kolodner, 1991, S. 53). Die Einsatzfähigkeit dieses Verfahrens zur Unterstützung der Prognoseerstellung wurde in der Literatur z. B. hinsichtlich der Nachfrageprognose im Einzelhandel nachgewiesen (vgl. z. B. McIntyre u. a., 1993). Der Einsatz eines wissensgetriebenen, CBR einsetzenden DSS erscheint daher zur Unterstützung der prognostischen Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung grundsätzlich geeignet. In den folgenden Kapiteln werden zunächst grundlegende Konzepte des CBR eingehend erläutert, um auf dieser Basis dessen Eignung zur Prognoseerstellung insbesondere vor dem Hintergrund des über verschiedene Ebenen hochschulinterner Planungssysteme divergierenden Prognosebedarfs eingehend zu diskutieren.

4.2 Case-based Reasoning (CBR)

4.2.1 Grundlagen des CBR-Paradigmas

CBR ist ein Problemlösungsparadigma der KI, dessen Ursprung in Arbeiten von Christopher Riesbeck, Roger Schank und Janet Kolodner liegt (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 39 f.; Kolodner, 1983; Riesbeck, 1989; Schank, 1983). Die Grundlage des Paradigmas bilden Ergebnisse empirischer Untersuchungen der Kognitionspsychologie, insbesondere die Feststellung der Determiniertheit menschlicher Problemlösungsprozesse durch Erinnerung einem zu lösenden Problem ähnlicher, in der Vergangenheit bereits gelöster Probleme (vgl. Kolodner, 1992, S. 30 f.). In Anlehnung an den menschlichen Problemlösungsprozess wird ein Problem mithilfe von CBR gelöst, indem die Lösungen erinnerter, ähnlicher Probleme komplett oder teilweise auf das aktuelle Problem übertragen werden, wobei ggf. eine Modifikation der Lösung zur Anpassung an die Anforderungen der aktuellen Problemstellung stattfindet (vgl. Althoff u. a., 1992, S. 14 f.). Zentral ist dabei die Annahme, dass gleiche oder ähnliche Probleme gleiche oder ähnliche Lösungen aufweisen (vgl. Leake & Wilson, 1999, S. 219). Im Gegensatz zu anderen verbreiteten Problemlösungsparadigmen der KI wird bei der Anwendung von CBR durch die Wiederverwendung von Lösungen bereits gelöster Probleme spezifisches Wissen⁴⁴ genutzt (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 39). Die Repräsentation dieses Wissens wird durch sogenannte Fälle mithilfe eines auszuwählenden Repräsentationsformalismus realisiert, zusätzlich kann generelles Wissen hinsichtlich der Wiederverwendung von Problemlösungen optional Anwendung finden (vgl. Bergmann, 2002, S. 28 ff.; Cunningham, 1999, S. 371; Richter, 2003, S. 415 f.). Insofern stellt CBR einen „Ansatz zur Wiederverwendung [...] von spezifischem Problemlösungswissen im Kontext eines aktuell zu lösenden Problems“ (Wess, 1995, S. 26) dar. Ein auf diesem Ansatz basierender Problemlösungsprozess umfasst mindestens die Ausführung der folgenden Aufgaben:

- Auffinden eines/mehrerer einem aktuellen Problem ähnlichen Problems/ähnlicher Probleme samt dessen/deren Lösung in einer potenziell sehr großen Sammlung in der Vergangenheit gelöster Probleme,

⁴⁴ In dieser Arbeit wird der Sichtweise von Aamodt & Nygård (1995) gefolgt, die Daten, Informationen und Wissen wie folgt abgrenzen: Daten sind syntaktische Einheiten ohne Bedeutung, die Inputgrößen eines Interpretationsprozesses darstellen; Informationen stellen das Ergebnis einer Interpretation von Daten dar, sie sind Daten mit einer Bedeutung; Wissen ist gelernte Information, die menschliche oder maschinelle Agenten in Entscheidungsprozessen verwenden können (vgl. Aamodt & Nygård, 1995, S. 197). Spezifisches Wissen bezieht sich auf eine eng abgegrenzte Betrachtungseinheit innerhalb einer Domäne, während sich generelles Wissen auf weite Teile einer Domäne oder auch mehrerer Domänen bezieht (vgl. Bergmann, 2002, S. 27).

- Entscheidung, ob ein aufgefundenes Problem bzw. dessen Lösung zur Lösung eines aktuellen Problems geeignet ist,
- Anwendung der Lösung des aufgefundenen Problems zur Lösung des aktuellen Problems und
- Integration neuer Probleme und deren Lösung in die Sammlung gelöster Probleme zur späteren Wiederverwendung (vgl. Kolodner, Simpson, & Sycara-Cryanski, 1985, S. 285).

Computersysteme, die das CBR-Paradigma implementieren, d. h. zur Problemlösung spezifisches, in Form von Fällen repräsentiertes Wissen und einen Problemlösungsprozess nutzen, in dem die genannten Aufgaben identifizierbar sind, werden in Anlehnung an Wess (1995) im Folgenden als CBR-Systeme bezeichnet. Um die Grundlage für ein Verständnis der Möglichkeiten zur Ausgestaltung solcher Systeme im Allgemeinen und des ihnen zugrundeliegenden Problemlösungsprozesses im Speziellen zu schaffen, werden im folgenden Kapitel zunächst die zentralen Konzepte zur Wissensrepräsentation in CBR-Systemen erläutert. Auf dieser Basis erfolgt in Kapitel 4.2.3 eine detaillierte Diskussion des Problemlösungsprozesses.

4.2.2 Wissensrepräsentation in CBR-Systemen

4.2.2.1 Fälle als zentrales Konzept zur Repräsentation spezifischen Wissens

Die Existenz von spezifischem Problemlösungswissen stellt eine notwendige Bedingung für die Problemlösung mithilfe von CBR dar (vgl. Wess, 1995, S. 25). Um dieses Wissen für CBR-Systeme nutzbar zu machen, ist es in maschinenlesbarer Form zu repräsentieren (vgl. Bergmann, 2002, S. 28). Hierzu werden sogenannte Fälle verwendet. Grundsätzlich repräsentiert ein Fall *eine einzelne Erfahrung* (vgl. Bergmann, 2002, S. 48; Kolodner, 1993, S. 13), d. h. *spezifisches Wissen, das im Rahmen eines Problemlösungsprozesses erworben wurde und nützlich ist* (vgl. Bergmann, 2002, S. 28). Als nützlich wird das durch einen Fall repräsentierte Wissen – und damit der Fall selbst – angesehen, wenn durch seinen Einsatz die Lösung neuer Probleme ermöglicht oder vereinfacht wird und/oder Probleme antizipiert werden können (vgl. Kolodner, 1993, S. 145). Eine notwendige Bedingung hierfür stellt die Strukturierung des Wissens in mindestens zwei Strukturkomponenten eines Falls, die *Problembeschreibung* und die *Lösung*, dar (vgl. Kolodner, 1993, S. 146). Wissen über den Kontext sowie die spezifischen Charakteristika der durch einen Fall repräsentierten Erfahrung ist der Problembeschreibung zuzuordnen (vgl. Bergmann, 2002,

S. 48). Sie umfasst insbesondere Angaben zu verfolgten Zielen sowie (notwendigen) Anforderungen an eine Lösung (Kolodner, 1993, S. 148 ff.). Bezogen auf eine Erfahrung aus dem Bereich E-Commerce kann das Ziel z. B. in der Auswahl eines Produkts bestehen und die Problembeschreibung zusätzlich zur Zieldefinition Anforderungen und Wünsche eines Kunden an ein auszuwählendes Produkt und/oder den Einsatzzweck eines Produkts enthalten (vgl. Bergmann, 2002, S. 49). Die Komponente Lösung eines Falls umfasst mindestens die Lösung, die unter Berücksichtigung der definierten Anforderungen zur Erreichung des in der Problembeschreibung definierten Ziels verwendet wurde (vgl. Kolodner, 1993, S. 147). Bezogen auf die oben skizzierte Problembeschreibung einer Erfahrung aus der Domäne E-Commerce kann dies z. B. eine Produktempfehlung sein (vgl. Bergmann, 2002, S. 49). Zusätzlich kann die Lösung den Lösungsweg, d. h. eine Folge von Schritten, die im Rahmen des Problemlösungsprozesses ausgeführt wurden, sowie eine Rechtfertigung der ausgewählten Lösung oder alternative Lösungen enthalten (vgl. Kolodner, 1993, S. 154).

Die logische Trennung der beiden genannten Strukturkomponenten eines Falls ist für den Ablauf eines auf dem CBR-Paradigma basierenden Problemlösungsprozesses von entscheidender Bedeutung. Die Problembeschreibung bildet die Grundlage für die Aufgaben des Auffindens eines dem aktuell zu lösenden Problem ähnlichen Problems sowie der Entscheidung, ob die Lösung eines aufgefundenen Problems als Lösung eines aktuellen Problems geeignet ist (vgl. Bergmann, 2002, S. 48 f.; Kolodner, 1993, S. 148). Sie bildet damit einen in der Regel komplexen Index für den Lösungsteil (vgl. Bergmann, 2002, S. 48). Auch das Vorliegen einer klar abgegrenzten Lösung ist zur Durchführung der Aufgabe „Anwendung der Lösung des aufgefundenen Problems zur Lösung des aktuellen Problems“ (vgl. Kapitel 4.2.1) unabdingbar (vgl. Kolodner, 1993, S. 154). Eine eindeutige Differenzierung von Problembeschreibung und Lösung erweist sich aber häufig als problematisch (vgl. Minor, 2006, S. 40), bezogen auf das oben genannte Beispiel einer Erfahrung aus dem Bereich des E-Commerce gehört z. B. Wissen über die Eigenschaften eines Produkts sowohl zur Problembeschreibung (im Sinne von Anforderungen an ein gesuchtes Produkt) als auch zur Lösung (im Sinne von Eigenschaften eines empfohlenen Produkts).

Zur formalen Abbildung des den einzelnen Komponenten eines Falls zugeordneten Wissens können verschiedene im KI-Bereich verbreitete Repräsentationsformalismen verwendet werden (vgl. Bergmann, Kolodner, & Plaza, 2005, S. 209). Die Auswahl erfolgt in Abhängigkeit vom intendierten Einsatzzweck eines zu implementierenden CBR-Systems,

unter Berücksichtigung der jeweiligen Einsatzpotenziale und Grenzen der Formalismen. Letztere werden im folgenden Kapitel diskutiert, um im weiteren Gang der Arbeit eine fundierte Auswahlentscheidung treffen zu können.

4.2.2.2 Formalismen zur Repräsentation von Wissen durch Fälle

Bergmann (2002) ordnet verbreitete Formalismen zur Abbildung von Wissen auf Fälle in drei Klassen, die *textuelle*, *dialogorientierte* und *strukturelle Fallrepräsentation* (vgl. Bergmann, 2002, S. 53).

Repräsentationsformalismen, die der Abbildung in semi- oder unstrukturierten Textdokumenten enthaltenen Problemlösungswissens auf einen Fall dienen, werden der Klasse der **textuellen Fallrepräsentation** zugeordnet (vgl. Bergmann u. a., 2003, S. 29; Lenz, Hübner, & Kunze, 1998, S. 120 ff.). Ein Fall besteht hier aus sogenannten Informationseinheiten (IE) (vgl. Bergmann u. a., 2005, S. 211). Allgemein repräsentiert eine IE Wissen auf atomarer Ebene z. B. in Form von Attribut-Wert-Paaren (vgl. Lenz & Burkhard, 1996, S. 228 f.). Im Kontext der textuellen Fallrepräsentation bildet eine IE eine Menge von Wörtern und Wortfolgen ab, die für ein bestimmtes Konzept stehen und wird daher auch als Text-Informationseinheit (Text-IE) bezeichnet (vgl. Minor, 2006, S. 44). Die Menge von Wörtern und Wortfolgen, die grundsätzlich in Text-IEs vorkommen können, wird durch ein sogenanntes Indexvokabular festgelegt, das neben Wörtern oder Wortfolgen auch entsprechende Synonyme, verschiedene Schreibweisen, Abkürzungen oder verschiedene grammatikalische Formen enthält (vgl. Minor, 2006, S. 44). Mithilfe eines Indexlexikons wird u. a. die Zugehörigkeit von Teilausschnitten des Indexvokabulars zu einzelnen Text-IEs eindeutig festgelegt (vgl. Minor, 2006, S. 45). Die Extraktion und Repräsentation in Textdokumenten enthaltenen Wissens kann auf Basis des Indexlexikons automatisiert erfolgen (vgl. Bergmann u. a., 2005, S. 211). Dazu liest ein Indizierungs-Algorithmus ein Textdokument wortweise ein, durchsucht es nach im Indexlexikon vorkommenden Wörtern oder Wortfolgen und fügt die ihnen jeweils eindeutig zugeordneten Text-IEs einem Fall hinzu (vgl. Minor, 2006, S. 45). Der initiale Aufwand der Wissensrepräsentation ist damit im Vergleich zur dialogorientierten oder strukturellen Fallrepräsentation niedrig (vgl. Bergmann, 2002, S. 53). Der entscheidende Nachteil – vor allem gegenüber strukturellen Fallrepräsentationen – liegt in begrenzten Möglichkeiten des Auffindens ähnlicher Fälle. Dieses beruht bei textuellen Fallrepräsentationen in der Regel auf einer trivialen Schlagwortsuche, die semantische Zusammenhänge innerhalb von Texten nicht berücksichtigt (vgl. Bergmann, 2002, S. 54). Ferner ist dieser Repräsentationsformalismus wenig

geeignet bei Vorliegen einer großen Zahl an Erfahrungen (bereits bei mehreren Hundert) sowie bei komplexen Problembeschreibungen (vgl. Bergmann, 2002, S. 54).

Der Abbildung von in Kunde-Dienstleister-Dialogen enthaltenem Wissen dienende Repräsentationsformalismen sind der Klasse der **dialogorientierten Fallrepräsentation** zuzuordnen (vgl. Bergmann, 2002, S. 55). Hier ist die Problembeschreibung eines Falls weiter unterteilt in einen Beschreibungs- und einen Spezifikationsteil (vgl. Aha, Breslow, & Muñoz-Avila, 2001, S. 10). Der Beschreibungsteil umfasst eine grobe textuelle Beschreibung eines mithilfe des auf den Fall abgebildeten Wissens zu lösenden Problems, der Spezifikationsteil besteht aus einer Menge an Frage-Antwort-Paaren (vgl. Aha u. a., 2001, S. 10 f.). Die Lösung eines Falls umfasst eine Menge von Aktionen, die zur Behebung des im Rahmen der repräsentierten Erfahrung gelösten Problems geeignet sind und z. B. durch Freitext oder Hyperlinks beschrieben werden (vgl. Aha u. a., 2001, S. 10 f.). Bei dialogorientierten Fallrepräsentationen existiert kein über alle gesammelten Fälle einheitliches, konzeptuelles Modell eines Falls, d. h. die Fallstruktur kann von Fall zu Fall variieren und die Liste an Frage-Antwort-Paaren ist von Fall zu Fall verschieden (vgl. Bergmann u. a., 2003, S. 23). Hieraus potenziell resultierende Probleme des Auffindens ähnlicher Fälle werden in der Regel durch eine fallübergreifende Organisation von Frage-Antwort-Paaren in eine entscheidungsbaumähnliche Struktur vermieden (vgl. Bergmann u. a., 2003, S. 23). Einzelne Fälle bzw. zum Spezifikationsteil einzelner Fälle gehörende Fragen sind durch einen Domänenexperten manuell in eine solche Struktur einzuordnen (vgl. Bergmann u. a., 2003, S. 23). Daher sind sowohl der initiale Aufwand der Wissensrepräsentation als auch der Wartungsaufwand insbesondere im Vergleich mit der textuellen Fallrepräsentation hoch (vgl. Bergmann u. a., 2003, S. 29 f.). Die dialogorientierte Fallrepräsentation hat unmittelbare Auswirkungen auf die Möglichkeiten zum Auffinden ähnlicher Fälle. Hierzu ist ein interaktiver Prozess zu durchlaufen, in dem einem Benutzer unter Berücksichtigung der durch die Baumstruktur festgelegten Fragereihenfolge sukzessive Fragen aus den Spezifikationsteilen gespeicherter Fälle gestellt werden (vgl. Aha u. a., 2001, S. 10 f.). Nach der Beantwortung jeder Frage findet ein ähnlichkeitsbasiertes Ranking der gespeicherten Fälle statt, wodurch eine iterative Annäherung an eine dem aktuell zu lösenden Problem ähnlichste Erfahrung realisiert wird (vgl. Aha u. a., 2001, S. 10 f.). Aufgrund des iterativen, interaktiven Charakters des durch sie induzierten Prozesses der Auffindung ähnlicher Fälle eignen sich dialogorientierte Fallrepräsentationen insbesondere zur Realisierung von CBR-Systemen zur Unterstützung von Call-Center Mitarbeitern, die durch sukzessive Abarbeitung von Fragekatalogen Kunden zur Lösung von (meist technischen) Problemen führen

(vgl. Aha u. a., 2001, S. 10; Bergmann, 2002, S. 55). Dem gegenüber ist eine vollständig automatisierte Problemlösung bei Einsatz dialogorientierter Fallrepräsentationen nicht realisierbar.

Die Grundlage von Formalismen, die der Klasse der **strukturellen Fallrepräsentation** zuzuordnen sind, bildet ein sogenanntes Domänenmodell (vgl. Bergmann, 2002, S. 55 f.), in dem ein verbindlicher Standard zur Abbildung von Erfahrungen auf Fälle festgelegt ist (vgl. Bergmann, 2002, S. 56; Wess, 1995, S. 111). Weit verbreitete strukturelle Repräsentationsformalismen sind z. B. *Attribut-Wert Paare* oder auf dem Modellierungsansatz des objektorientierten Paradigmas der Informationssystementwicklung aufbauende Formalismen, die im Folgenden als *objektorientierte Fallrepräsentationen* bezeichnet werden (vgl. Bergmann, 2002, S. 61). Bei der Fallrepräsentation mittels Attribut-Wert Paaren wird im Domänenmodell eine Menge von Attributen spezifiziert, aus denen ein Fall besteht (vgl. Bergmann, 2002, S. 61 f.). Ein Attribut repräsentiert eine atomare Eigenschaft einer Domäne und weist einen Attributnamen, z. B. eine Produktbezeichnung, sowie einen Wertebereich, z. B. String, auf (vgl. Wess, 1995, S. 111 f.). Die Wissensrepräsentation erfolgt durch Belegung der Attribute mit Werten (vgl. Bergmann, 2002, S. 61 f.). Um eine Möglichkeit zur Auffindung von Fällen zu schaffen, ist eine Teilmenge der Attribute der Problembeschreibung zuzuordnen, während die verbleibende Menge an Attributen der Lösung eines Falles zugewiesen wird (vgl. Bergmann, 2002, S. 90). Dabei sollten Attribute der Problembeschreibung möglichst unabhängig⁴⁵ voneinander sein, in ihrer Gesamtheit das Problem vollständig beschreiben und von Relevanz sein für die Entscheidung, ob eine aufgefundene Erfahrung zur Lösung eines aktuellen Problems geeignet ist (vgl. Bergmann, 2002, S. 90 f.). Insbesondere sollten sie Determinanten der Attributausprägungen der Lösung eines Falls darstellen (vgl. Watson, 2003, S. 28). Die der Lösung zugeordneten Attribute sollten ebenfalls möglichst unabhängig sein, um eine ggf. notwendige Anpassung einzelner Attribute an eine neue Problemsituation zu ermöglichen, ihr Wert sollte durch direkte Beobachtung, durch Messung oder durch Ableitung aus anderen Attributen im Rahmen der Problemlösung bestimmbar sein und sie sollten in ihrer Gesamtheit unmittelbar die Reproduktion der Lösung der repräsentierten Erfahrung erlauben (vgl. Bergmann, 2002, S. 91). Zu den Vorteilen der strukturellen Fallrepräsentation mittels Attribut-Wert

⁴⁵ Bei der Auswahl der Attribute bzw. der Zuordnung von Attributen zur Problembeschreibung ist in der Praxis das Kriterium der Unabhängigkeit zumeist nicht vollständig erfüllbar, da auch abhängige Attribute zur Erleichterung oder Ermöglichung des Auffindens von Fällen aufgenommen werden müssen (vgl. Bergmann, 2002, S. 90).

Paaren zählen eine gute Verständlichkeit der und ein geringer initialer Aufwand zur Wissenspräsentation, sowie einfache Möglichkeiten zur Kopplung mit (relationalen) Datenbanken (vgl. Bergmann, 2002, S. 72). Allerdings sind komplexe oder verschieden strukturierte Entitäten der Realwelt nur schwer oder gar nicht durch Attribut-Wert Paare abzubilden (vgl. Bergmann, 2002, S. 72). Diese Art der Fallrepräsentation eignet sich daher vorrangig zur Realisierung von CBR-Systemen mit einer großen Anzahl an Fällen, die aus jeweils wenigen Attributen bestehen und der Lösung simpler analytischer Fragestellungen dienen (vgl. Bergmann, 2002, S. 72).

Zur Veranschaulichung ist in Abbildung 4-2 ein Fall dargestellt, der Wissen, das bei der Ermittlung des Preises eines Automobils gewonnen wurde, mittels Attribut-Wert Paaren repräsentiert.

<p><u>Problembeschreibung</u></p> <p>Modellcode (Integer): 9999 Modellbezeichnung (String): Golf V Modellvariante (String): Trendline Motor (String): 1,2 l TSI Leistung_in_kW (Integer): 63 Getriebe (String): 6-Gang-Schaltgetriebe</p> <p><u>Lösung</u></p> <p>Preis_in_Euro (Double): 16.975,00</p>
--

Abbildung 4-2: Beispiel der Fallrepräsentation mittels Attribut-Wert Paaren

Quelle: Eigene Darstellung

Die objektorientierte Fallrepräsentation⁴⁶ stellt eine Erweiterung der Repräsentation mittels Attribut-Wert Paaren dar (vgl. Bergmann, 2002, S. 63). Ein Fall wird hier durch ein objektorientiertes Domänenmodell definiert als eine Menge zueinander in Beziehung stehender Objekte⁴⁷, die jeweils Instanzen von in einer Klassenhierarchie angeordneten Klassen sind und von denen ein Objekt als fallidentifizierend gekennzeichnet ist (vgl. Bergmann, 2002, S. 66). Dabei beschreiben Objekte Entitäten einer Domäne durch eine endliche Menge von Attributen (vgl. Wess, 1995, S. 114). Die Beschreibung der Struktur eines Ob-

⁴⁶ Die objektorientierte Fallrepräsentation stützt sich auf bekannte Konzepte des objektorientierten Paradigmas der Entwicklung von Informationssystemen (im Folgenden Objektorientierung). Die Ausführungen dieses Kapitels sind nicht als vollständige, abschließende Diskussion der Objektorientierung zu verstehen. Vielmehr erfolgt eine überblicksartige Erläuterung der Konzepte der Objektorientierung, die verbreitete Anwendung zur Abbildung von Wissen auf Fälle finden. Hinsichtlich grundlegender Erläuterungen der Objektorientierung sei verwiesen z. B. auf Balzert (1999) oder Coad & Yourdon (1991).

⁴⁷ Hier und im weiteren Verlauf der Arbeit wird mit dem Begriff Objekt eine konkretes Exemplar einer Klasse (in der Literatur häufig auch „Instanz“ (vgl. z. B. Coad & Yourdon, 1994, S. 44)) bezeichnet.

jekts erfolgt durch Definition einer Klasse, in der die zu einem Objekt gehörenden Attribute festzulegen sind (vgl. Wess, 1995, S. 115). Auch wird jedem Attribut in der Klassendefinition ein Typ (*einfache Attribute*) oder eine andere Klasse zugewiesen (*relationale Attribute*) (vgl. Wess, 1995, S. 117). Im ersten Fall kommt sowohl die Zuweisung von Basistypen wie Integer oder String als auch die Zuweisung benutzerdefinierter Typen wie Aufzählung oder Intervall in Betracht (vgl. Wess, 1995, S. 113). Im Gegensatz zu einfachen Attributen repräsentieren relationale Attribute keine atomaren Eigenschaften eines durch die Klasse K_a beschriebenen Objekts O_a sondern binäre Assoziationen zu Objekten O_b einer anderen Klasse K_b , über die O_a Zugriff auf die Attribute von O_b erhält (vgl. Bergmann, 2002, S. 63 f.; Wess, 1995, S. 117). Durch die Definition eines relationalen Attributs A_a in der Klassendefinition K_a wird eine sogenannte has-part Beziehung zwischen O_a und O_b spezifiziert (vgl. Wess, 1995, S. 116 f.). Derartige Beziehungen erlauben die flexible Zerlegung eines Objekts in (mehrere) Unterobjekte, die in einer Zerlegungshierarchie resultiert (vgl. Wess, 1995, S. 116). Sowohl für einfache als auch für relationale Attribute können Kardinalitäten definiert werden, die festlegen, welche Anzahl an verschiedenen Werten oder Objekten ein Attribut annehmen kann (vgl. Bergmann, 2002, S. 65 f.). Die Definition eines relationalen Attributs A_a vom Typ K_b in der Klasse K_a mit einer Kardinalität größer eins spezifiziert bspw. eine has-part Beziehung, die besagt, dass ein Objekt O_a aus mehreren Objekten O_b besteht und ein Objekt O_b zu genau einem Objekt O_a gehört. Zusätzlich zu der durch die Definition von Klassen erreichten Strukturierung von Objekten erlaubt der Einsatz des Vererbungskonzepts die Repräsentation von begrifflichen Zusammenhängen zwischen den Klassen einer Domäne (vgl. Wess, 1995, S. 118). Durch Spezialisierung einer allgemeinen Klasse wird dabei eine neue, abgeleitete Klasse definiert, die alle Attribute der allgemeinen Klasse erbt und durch Definition zusätzlicher Attribute gegenüber der allgemeinen Klasse erweitert werden kann (vgl. Wess, 1995, S. 118). Durch wiederholte Anwendung der Spezialisierung entsteht eine hierarchische Struktur der Begriffswelt einer Domäne, die sogenannte Klassenhierarchie (vgl. Wess, 1995, S. 118). Die Definition von Vererbungsbeziehungen erlaubt u. a. die eindeutige Zuordnung von Teilen einer repräsentierten Erfahrung zur Problembeschreibung bzw. zur Lösung eines Falls, indem z. B. Spezialisierungen einer allgemeinen Klasse Beschreibung bzw. einer allgemeinen Klasse Lösung definiert werden. Die Repräsentation von Entitäten der Realwelt, wie z. B. aus verschiedenen Komponenten bestehenden technischen Geräten, die eine komplexe und u. U. je betrachteter Entität unterschiedliche Struktur aufweisen und daher mittels der oben diskutierten Attribut-Wert Paare nicht oder nur schwer abzubilden sind,

wird durch den (ggf. kombinierten) Einsatz der skizzierten Konzepte ermöglicht bzw. vereinfacht (vgl. Wess, 1995, S. 120). Ferner beschreiben Beziehungen zwischen Objekten oder Klassen Wissen, das zur Verfeinerung der ähnlichkeitsbasierten Auffindung und ggf. angepassten Wiederverwendung von Erfahrungen in Problemlösungsprozessen verwendet werden kann (vgl. Bergmann & Stahl, 1998, S. 26 ff.). Zusätzlich erleichtern objektorientierte Fallrepräsentationen eine Integration spezifischen, durch Fälle repräsentierten Wissens und generellen Domänenwissens z. B. zur Unterstützung der Anpassung aufgefundener Problemlösungen an ein aktuell zu lösendes Problem (vgl. z. B. Bergmann, Wilke, Vollrath, & Wess, 1996; Díaz-Agudo, González-Calero, Recio-García, & Sánchez-Ruiz-Granados, 2007). Mit den flexiblen Möglichkeiten der Wissensrepräsentation einher geht allerdings eine Steigerung der Rechenintensität des Prozesses der Auffindung von Erfahrungen (vgl. Bergmann, 2002, S. 72). Objektorientierte Fallrepräsentationen eignen sich zusammenfassend vor allem zur Realisierung von CBR-Systemen zur Lösung komplexer analytischer oder synthetischer Probleme, zu deren Lösung Wissen hinsichtlich der Strukturen einer Domäne und ihrer Entitäten eine herausragende Rolle spielt (vgl. Bergmann, 2002, S. 72).

Zur Veranschaulichung ist in Abbildung 4-3 ein Fall in UML-Notation dargestellt, der Wissen, das bei der Auswahl eines Personal Computers gewonnen wurde, objektorientiert repräsentiert.

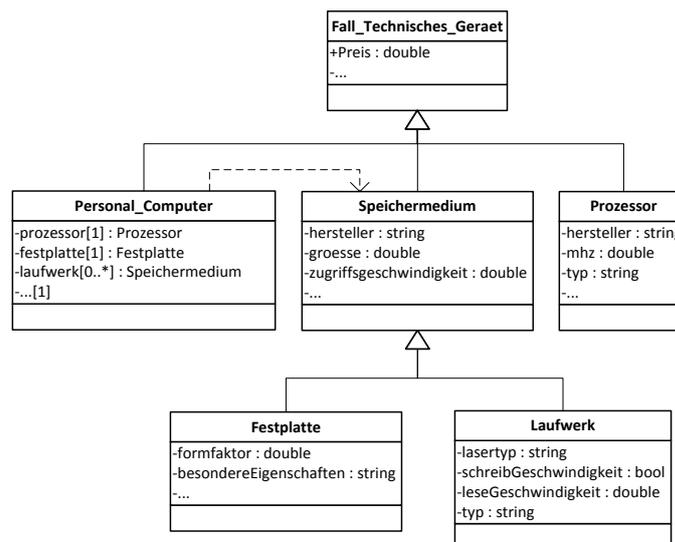


Abbildung 4-3: Beispiel der objektorientierten Fallrepräsentation

Quelle: In Anlehnung an (Bergmann & Stahl, 1998, S. 28)

4.2.2.3 Bereitstellung spezifischen Wissens in einer Fallbasis

Mittels eines der im vorigen Kapitel diskutierten Repräsentationsformalisten erfolgt die Abbildung *einzelner* Erfahrungen auf jeweils *einen* Fall mit dem Ziel der Bereitstellung spezifischen Problemlösungswissens in maschinenlesbarer Form. Die Menge aller Fälle, die einem CBR-System zur Lösung zukünftiger Probleme zur Verfügung stehen, wird als Fallbasis bezeichnet (vgl. Wess, 1995, S. 25). Der wissenschaftliche Diskurs des CBR-Paradigmas unterstellt zumeist, dass einem CBR-System genau *eine Fallbasis* zur Verfügung steht, die ausschließlich Fälle zur Problemlösung *innerhalb einer Domäne* beinhaltet (vgl. Leake & Sooriamurthi, 2002, S. 106). Dieser Annahme wird in der vorliegenden Arbeit gefolgt. Im weiteren Verlauf der Arbeit ist auf dieser Grundlage unter dem Begriff „Fallbasis“ eine *themenorientierte Sammlung einzelner, durch Fälle repräsentierter Erfahrungen, die zur Ermöglichung oder Vereinfachung der Lösung zukünftiger Probleme bereitgestellt werden*, zu verstehen.

Aufgrund der Struktur der in einer Fallbasis bereitgestellten Fälle ist grundsätzlich zwischen *homogenen* und *heterogenen Fallbasen* zu unterscheiden (vgl. Watson, 2003, S. 27). Homogene Fallbasen zeichnen sich dadurch aus, dass alle in ihnen enthaltenen Fälle die gleichen Attribute aufweisen, während heterogene Fallbasen Fälle unterschiedlicher Struktur und damit einer voneinander abweichenden Anzahl an Attributen oder voneinander abweichenden Attributtypen enthalten (vgl. Watson, 2003, S. 27). Entscheidend determiniert ist die Art der Fallbasis durch den zur Fallrepräsentation verwendeten Formalismus. Beispielsweise existiert bei Einsatz dialogorientierter Repräsentationsformalisten keine für alle Fälle einheitliche Struktur (vgl. Kapitel 4.2.2.2). Werden Formalismen dieser Klasse zur Fallrepräsentation eingesetzt, resultiert zumeist eine heterogene Fallbasis. Bei der Anwendung struktureller Repräsentationsformalisten lässt sich durch Definition eines Domänenmodells eine für alle Fälle einheitliche Struktur festlegen. Beispielsweise erfolgt bei der Repräsentation mittels Attribut-Wert Paaren im Domänenmodell die Definition von Attributen, durch die jeder Fall zu beschreiben ist (vgl. Kapitel 4.2.2.2). Die Verwendung von Attribut-Wert Paaren zur Wissensrepräsentation resultiert damit in homogenen Fallbasen. Im Gegensatz dazu resultieren aus dem Einsatz der objektorientierten Fallrepräsentation zumeist heterogene Fallbasen. Denn mehrwertige Attribute (Kardinalität größer eins) können fallspezifisch unterschiedlich viele Assoziationen zu anderen Objekten oder unterschiedlich viele Werte annehmen (vgl. Kapitel 4.2.2.2). Die Unterscheidung homogener und heterogener Fallbasen ist von besonderer Bedeutung, da insbesondere aus heterogenen

Fallbasen Probleme hinsichtlich der Möglichkeiten des Auffindens ähnlicher Fälle resultieren (vgl. Abou Assali, Lenne, & Debray, 2009, S. 567; Lopez De Mantaras u. a., 2005, S. 223).

Die initiale Erstellung einzelner Fälle und deren Speicherung in einer Fallbasis erfolgt im Rahmen eines Wissensakquisitionsprozesses (vgl. Cunningham, 1999, S. 373 ff.), z. B. durch Extraktion relevanter Daten aus operativen Systemen, Transformation der Daten in die durch einen gewählten Repräsentationsformalismus vorgegebene Fallstruktur und Laden aller Fälle in eine Fallbasis. Darüber hinaus werden im Rahmen fallbasierter Problemlösungsprozesse gelöste Probleme und deren Lösungen in die Fallbasis integriert (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 45).

4.2.2.4 Repräsentation generellen Wissens zur Bestimmung der Nützlichkeit sowie zur Adaption von Fällen

Zur Auffindung, Auswahl und Wiederverwendung von Fällen im Rahmen fallbasierter Problemlösungsprozesse wird generelles Wissen hinsichtlich ihrer Nützlichkeit zur Lösung aktueller Probleme benötigt (vgl. Bergmann, 2002, S. 30). Unter der Annahme, dass ähnliche Probleme ähnliche Lösungen aufweisen (vgl. Kapitel 4.2.1), ist die Nützlichkeit eines Falls zur Lösung eines aktuellen Problems durch die Ähnlichkeit zwischen der Problembeschreibung des Falls und der Beschreibung des aktuellen Problems approximierbar (vgl. Bergmann, 2002, S. 94). Daneben determinieren die möglichen oder notwendigen Schritte zur Anpassung der Lösung eines Falls an eine aktuelle Problemstellung dessen Nützlichkeit in entscheidender Weise (vgl. Wess, 1995, S. 37).

Repräsentation von generellem Wissen zur Ähnlichkeitsbewertung

Die Repräsentation von generellem Wissen hinsichtlich der Bewertung der *Ähnlichkeit* erfolgt durch ein sogenanntes *Ähnlichkeitsmaß* (vgl. Bergmann, 2002, S. 94 ff.; Richter, 2003, S. 417 ff.), d. h. durch eine *mathematische Funktion*, mit der zur *Laufzeit* eines CBR-Prozesses die Ähnlichkeit zwischen Fällen in der Fallbasis und einer neuen Problemstellung *berechnet* wird (vgl. Wess, 1995, S. 34). Ergebnis der Berechnung ist eine *Präferenzrelation*, in der die verfügbaren Fälle hinsichtlich ihrer (durch die Ähnlichkeit approximierten) Nützlichkeit für die Lösung des aktuellen Problems geordnet sind (vgl. Bergmann, 2002, S. 97 ff.). Von besonderer Bedeutung ist bei der Ähnlichkeitsberechnung eine *eindeutige, widerspruchsfreie Abgrenzung der Bestandteile Problembeschreibung und Lösung aller in einer Fallbasis bereitgestellten Fälle*. Denn das Ergebnis der Ähnlichkeits-

berechnung resultiert ausschließlich aus der Bestimmung der Ähnlichkeit der in Fällen enthaltenen Problembeschreibungen mit einem aktuell zu lösenden Problem (vgl. Bergmann, 2002, S. 94). Dementsprechend ist unter der Ähnlichkeit von Fällen im Folgenden stets die mithilfe eines Ähnlichkeitsmaßes berechnete Ähnlichkeit der Problembeschreibungen der Fälle zu verstehen. Die verschiedenen in Kapitel 4.2.2.2 diskutierten Fallrepräsentationen implizieren unterschiedliche Ausgestaltungen von Ähnlichkeitsmaßen (vgl. Bergmann, 2002, S. 103). An dieser Stelle erfolgt ausschließlich eine Erläuterung der Gestaltung von Ähnlichkeitsmaßen für objektorientierte Fallrepräsentationen.⁴⁸

Bei objektorientierten Fallrepräsentationen bestehen Fälle aus Objekten (vgl. Kapitel 4.2.2.2). Die Bewertung der Ähnlichkeit zwischen einem in der Fallbasis fs bereitgestellten Fall C_{fs} und einem Fall C_{pb} , der eine aktuell zu lösende Problemsituation pb beschreibt, erfordert folglich eine Bewertung der Ähnlichkeit der Objekte (im Folgenden globale Objektähnlichkeit), aus denen die Fälle bestehen, mithilfe eines Ähnlichkeitsmaßes (vgl. Bergmann & Stahl, 1998, S. 26). Unter der Annahme, dass beide Fälle ausschließlich aus Objekten jeweils gleicher Klassen bestehen, kann zur Berechnung der globalen Objektähnlichkeit das auf Wess (1995) zurückgehende *rekursive Lokal-Global-Prinzip* verwendet werden. Dieses beruht auf einem Vergleich der Attributausprägungen der betrachteten Objekte (vgl. Wess, 1995, S. 125). Für jedes einfache Attribut A_{efs} bzw. A_{epb} der für C_{fs} und C_{pb} als fallidentifizierend gekennzeichneten Objekte O_{fs} und O_{pb} wird mittels einer Vergleichsfunktion $sim(A_{efs}, A_{epb})$, die als *lokales Ähnlichkeitsmaß* bezeichnet wird, ein Vergleich der Attributwerte angestellt (vgl. Wess, 1995, S. 126). Bei Attributen A_{efs} bzw. A_{epb} vom Typ Integer mit den Ausprägungen a_{efs} bzw. a_{epb} erfolgt der Vergleich z. B. durch die Bildung der absoluten Differenz der Ausprägungen (vgl. Wess, 1995, S. 127):

$$sim(A_{efs}, A_{epb}) = |a_{efs} - a_{epb}| \quad (1)$$

Die globale Objektähnlichkeit von C_{fs} und C_{pb} errechnet sich mittels einer Vergleichsfunktion $sim(C_{fs}, C_{pb})$, die aus den lokalen Ähnlichkeitsmaßen zusammengesetzt ist und als *globales Ähnlichkeitsmaß* bezeichnet wird (Wess, 1995, S. 125/129). Für den Fall, dass

⁴⁸ Diese Einschränkung erfolgt, da erstens strukturelle Fallrepräsentationen gegenüber Formalismen der anderen diskutierten Klassen das breiteste Einsatzspektrum aufweisen – sie sind z. B. für die Lösung komplexer Probleme am besten geeignet (vgl. Bergmann, 2002, S. 60) – und zweitens objektorientierte Repräsentationen weitreichendere Implikationen für die Ähnlichkeitsberechnung haben, als bspw. die Fallrepräsentation mittels Attribut-Wert Paaren (vgl. Bergmann, 2002, S. 123).

die Objekte O_{fs} und O_{pb} ausschließlich einfache Attribute enthalten, kann das globale Ähnlichkeitsmaß z. B. als Summe der jeweils mit einem Faktor w_i gewichteten Ergebnisse der lokalen Ähnlichkeitsfunktionen aller i Attribute der Objekte definiert sein (vgl. Bergmann & Stahl, 1998, S. 29):

$$\text{sim}(C_{fs}, C_{pb}) = \text{sim}(O_{fs}, O_{pb}) = \frac{\sum_{i=1}^n [\text{sim}_i(A_{iefs}, A_{iepb}) * w_i]}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

Sind die betrachteten Objekte durch die Definition relationaler Attribute A_{rfs} bzw. A_{rpb} in Unterobjekte O_{ufs} bzw. O_{upb} zerlegt, erfolgt die Berechnung der globalen Objektähnlichkeit rekursiv aus der Berechnung der (lokalen) Objektähnlichkeit der Unterobjekte, die wie Ergebnisse lokaler Ähnlichkeitsmaße gewichtet in die Berechnung der globalen Objektähnlichkeit eingehen (vgl. Bergmann & Stahl, 1998, S. 26; Wess, 1995, S. 126). Dies sei in Anlehnung an Bergmann & Stahl (1998) am Beispiel von zwei Objekten O_{fs} und O_{pb} mit i einfachen und genau einem relationalen Attribut erläutert: Zunächst wird die Ähnlichkeit der Unterobjekte O_{ufs} und O_{upb} auf Basis der Ausprägungen ihrer einfachen Attribute A_{iufs} bzw. A_{iupb} bestimmt als:

$$\text{sim}(O_{ufs}, O_{upb}) = \frac{\sum_{i=1}^n [\text{sim}_i(A_{iufs}, A_{iupb}) * w_{iu}]}{\sum_{i=1}^n w_{iu}} \quad (3)$$

Das Ergebnis dieser Berechnung geht anschließend wie das Ergebnis aller anderen lokalen Ähnlichkeitsmaße gewichtet in die Berechnung der globalen Objektähnlichkeit ein:

$$\begin{aligned} \text{sim}(C_{fs}, C_{pb}) &= \text{sim}(O_{fs}, O_{pb}) \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n [\text{sim}_i(A_{iefs}, A_{iepb}) * w_i] + \text{sim}(O_{ufs}, O_{upb}) * w_{n+1}}{\sum_{i=1}^n w_i + w_{n+1}} \end{aligned} \quad (4)$$

Ist die Kardinalität x des relationalen Attributs größer als eins, geht ein gewichteter Durchschnitt der Ähnlichkeiten aller m von diesem Attribut referenzierten Unterobjekte in die Berechnung der globalen Objektähnlichkeit ein, es gilt:

$$\begin{aligned} &\text{sim}(C_{fs}, C_{pb}) \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n [\text{sim}_i(A_{iefs}, A_{iepb}) * w_i] + \left[\frac{\sum_{x=1}^m \text{sim}(O_{xufs}, O_{xupb}) * w_x}{\sum_{x=1}^m w_x} * w_{n+1} \right]}{\sum_{i=1}^n w_i + w_{n+1}} \end{aligned} \quad (5)$$

Problematisch erscheint diese Vorgehensweise bei einer Strukturierung der betrachteten Fälle durch eine tiefe Zerlegungshierarchie, d. h. eine mehrfache Zerlegung der Objekte, aus denen ein Fall besteht, in Unterobjekte. Hier resultiert implizit eine bzgl. der globalen Objektähnlichkeit überproportionale Gewichtung einfacher Attribute von Objekten in der Zerlegungshierarchie auf höheren Ebenen stehender Klassen. Zur näheren Erläuterung dient ein Beispiel der Ähnlichkeitsberechnung zwischen zwei Fällen, die jeweils aus Objekten von vier Klassen mit je drei einfachen und maximal einem relationalen Attribut bestehen. In Abbildung 4-4 ist das Vorgehen zur Berechnung für dieses Beispiel grafisch veranschaulicht.

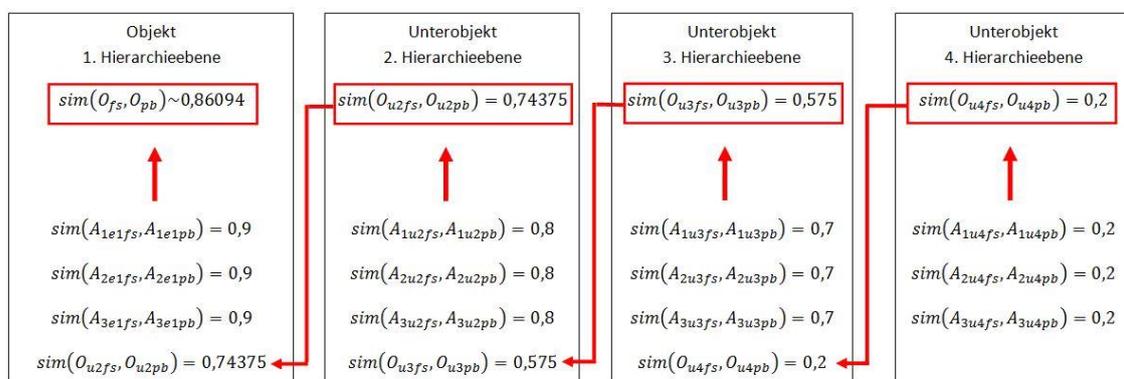


Abbildung 4-4: Ähnlichkeitsberechnung nach dem rekursiven Lokal-Global Prinzip

Quelle: Eigene Darstellung

Zunächst erfolgt die Berechnung der lokalen Ähnlichkeiten zwischen den Attributwerten der Objekte der auf der niedrigsten Ebene der Zerlegungshierarchie stehenden Klasse (Unterojekt 4. Hierarchieebene). Aus diesen wird die (lokale) Objektähnlichkeit der Objekte auf dieser Hierarchieebene berechnet ($sim(O_{u4fs}, O_{u4pb}) = 0,2$). Diese geht anschließend zusammen mit den Ergebnissen der Berechnung der lokalen Ähnlichkeiten zwischen den Attributwerten der Objekte auf der dritten Hierarchieebene in die Berechnung der (lokalen) Objektähnlichkeit auf der dritten Hierarchieebene ($sim(O_{u3fs}, O_{u3pb}) = 0,575$) ein. Dieses Vorgehen wird für die Objekte der Klassen auf der zweiten und ersten Hierarchieebene äquivalent wiederholt, so dass schließlich die globale Objektähnlichkeit (globale Ähnlichkeit der zu vergleichenden Fälle) als die Ähnlichkeit zwischen den Objekten auf der höchsten Hierarchieebene $sim(O_{fs}, O_{pb}) \sim 0,86094$ berechnet wird. Allgemein geht dabei der auf der niedrigsten Ebene der Zerlegungshierarchie ermittelte Wert der Objektähnlichkeit gewichtet mit einem Faktor $\frac{1}{n}$ mit in die Berechnung der globalen Objektähnlichkeit ein, wobei n das Produkt der je höherer Hierarchieebene in das Ähnlichkeitsmaß eingehenden

Anzahl an lokalen Ähnlichkeiten ist. Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 4-5 die berechneten lokalen und globalen Ähnlichkeiten mit einer lokalen Objektähnlichkeit von 0,3 auf der vierten Hierarchieebene und damit einer ceteris paribus Erhöhung der Objektähnlichkeit auf dieser Hierarchieebene.

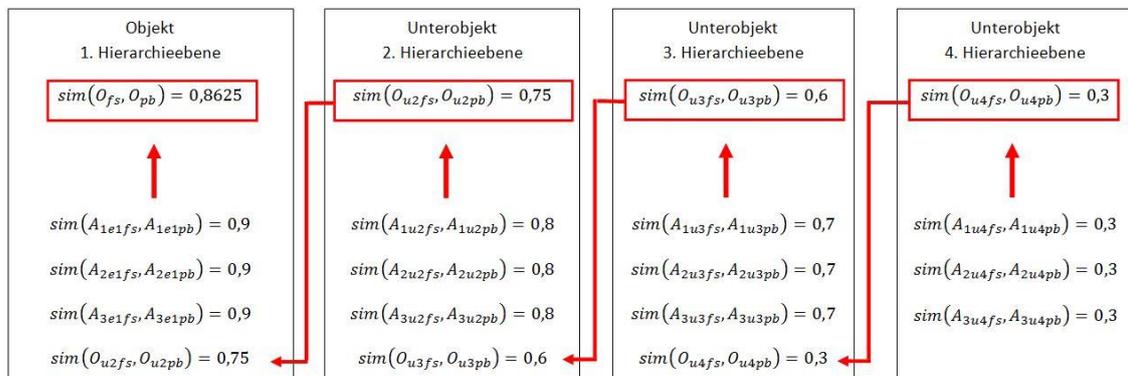


Abbildung 4-5: Ähnlichkeitsberechnung nach dem rekursiven Lokal-Global Prinzip - ceteris paribus Erhöhung der Objektähnlichkeit

Quelle: Eigene Darstellung

Im vorliegenden Beispiel führt die ceteris paribus Erhöhung der auf vierter Hierarchieebene berechneten (lokalen) Objektähnlichkeit zu einer nur unterproportionalen Erhöhung der (lokalen) Objektähnlichkeit auf zweiter Hierarchieebene (Erhöhung um 0,00625 auf 0,75, vgl. Abbildung 4-5). Denn die Objekte der Klassen auf der dritten und zweiten Hierarchieebene weisen jeweils vier Attribute auf, so dass die Erhöhung der Ähnlichkeit nur gewichtet mit dem Faktor $\frac{1}{(4*4)}$ auf die Objektähnlichkeit auf der zweiten Hierarchieebene wirkt.

Soll bei der Ähnlichkeitsberechnung der Fokus auf Objekten niedriger Ebenen der Zerlegungshierarchie liegen, weil diese bspw. entscheidende Details einer Problemlösung repräsentieren und damit die Nützlichkeit einer Erfahrung zur Lösung neuer Probleme maßgeblich beeinflussen, ist eine geeignete, ggf. dynamisch an die Anzahl in das Ähnlichkeitsmaß eingebundener lokaler Ähnlichkeiten angepasste Gewichtung relationaler Attribute vorzunehmen. Aufgrund der damit einhergehenden Komplexität scheidet eine manuelle Festlegung der Gewichte durch einen Anwender zur flexiblen Ausgestaltung des Ähnlichkeitsmaßes bei Einsatz des rekursiven Lokal-Global Prinzips und einer tiefen Zerlegungshierarchie aus. Für die Ähnlichkeitsberechnung zwischen stark zerlegten, objektorientiert repräsentierten Erfahrungen erscheint daher die Suche nach einem alternativen Vorgehen sinnvoll.

Neben der Zerlegungshierarchie ist auch die im Domänenmodell festgelegte Klassenhierarchie bei der Ähnlichkeitsberechnung zu berücksichtigen. Besteht ein Fall aus Objekten

(zum Teil) unterschiedlicher Klassen wird von Bergmann & Stahl (1998) ein zweistufiges Verfahren zur Berechnung der globalen Objektähnlichkeit vorgeschlagen (vgl. Bergmann & Stahl, 1998, S. 29 ff.). In der ersten Stufe erfolgt die Bewertung der Ähnlichkeit der Objekte beider Fälle nach dem oben erläuterten rekursiven Lokal-Global Prinzip (auch intra-class similarity genannt) (vgl. Bergmann & Stahl, 1998, S. 29). In der zweiten Stufe erfolgt eine Berechnung der Ähnlichkeit der jeweiligen Klassen der Objekte auf Basis der in einer Klassenhierarchie spezifizierten, gemeinsamen Oberklassen (auch inter-class similarity genannt) (vgl. Bergmann & Stahl, 1998, S. 30 ff.). Die globale Objektähnlichkeit wird schließlich als Produkt aus inter- und intra-class similarity berechnet (vgl. Bergmann & Stahl, 1998, S. 30).

Repräsentation und Integration generellen Wissens zur Anpassung wiederverwendeter Lösungen

Hinsichtlich der Repräsentation, der Integration und des Ausmaßes der Nutzung von generellem Wissen über mögliche oder notwendige Anpassungsschritte (im Folgenden *Adaptionswissen*) in CBR-Systemen werden in der Literatur verschiedene Ansätze vorgeschlagen.

Vielfach erfolgt die Repräsentation von Adaptionwissen in Form von *Regeln* (vgl. Richter, 2003, S. 421). Allgemein ist eine Regel definiert als formalisierter Konditionalsatz in der Form „Wenn A (Prämisse), dann B (Konklusion)“ (formal: $A \rightarrow B$) (vgl. Beierle & Kern-Isberner, 2008, S. 72). Ist die Prämisse einer Regel erfüllt, kann die Regel angewendet werden, sie feuert (vgl. Beierle & Kern-Isberner, 2008, S. 72). Wess (1995) unterscheidet im CBR-Kontext grundsätzlich drei Arten von Regeln zur Repräsentation von generellem Wissen: Modifikationsregeln, Ableitungsregeln und Constraints (vgl. Wess, 1995, S. 135). *Modifikationsregeln* dienen der Anpassung von Lösungen an ein zu lösendes Problem auf Basis von Abhängigkeiten zwischen Attributwerten mehrerer Fälle, z. B. denen eines in der Fallbasis bereitgestellten und eines ein aktuell zu lösendes Problem beschreibenden Falls (vgl. Wess, 1995, S. 123). Die Wissensrepräsentation erfolgt in Anlehnung an die oben skizzierte allgemeine Definition einer Regel, wobei die Prämisse aus Konjunktionen von Bedingungen an Attribute z. B. einer Problembeschreibung eines zu lösenden Falls besteht, auf deren Basis durch die Konklusion Attributwerte im Lösungsteil eines aufgefundenen Falls gesetzt werden (vgl. Wess, 1995, S. 124). *Ableitungsregeln* weisen grundsätzlich die gleiche Struktur wie Modifikationsregeln auf, Prämisse- und Konklusion beziehen sich allerdings auf dieselbe Entität, d. h. z. B. nur auf Attribute des Lösungsteils eines in der Fallbasis bereitgestellten Falls (vgl. Wess, 1995, S. 122). Sie die-

nen u. a. der Vervollständigung einer wiederzuverwendenden Lösung (vgl. Wess, 1995, S. 135). *Constraints* repräsentieren Wissen in der Form *Bedingung* → *Beschränkung*, wobei der Bedingungsteil der Prämisse in Modifikations- oder Ableitungsregeln gleicht und der Beschränkungsteil den nach Anwendung des Constraints gültigen Wertebereich bestimmter Attribute festlegt (vgl. Wess, 1995, S. 122). Sie werden u. a. zur Konsistenzprüfung einer wiederzuverwendenden Lösung genutzt (vgl. Wess, 1995, S. 135).

Wess (1995) schlägt eine *vollständige Integration von Regeln in Fälle* durch Regelspezifikation in der Klassendefinition vor (vgl. Wess, 1995, S. 124) und nutzt Ableitungsregeln und Constraints sowohl zur Verfeinerung der Auffindung von Fällen als auch zur Anpassung gefundener Fälle bzw. deren Lösungen an ein aktuell zu lösendes Problem (vgl. Wess, 1995, S. 134). In seinem Ansatz enthalten Fälle damit sowohl spezifisches als auch generelles Wissen, was einer Erweiterung gegenüber der in Kapitel 4.2.2.1 diskutierten, allgemeinen Definition eines Falls gleichkommt. Im Gegensatz dazu schlagen z. B. Rissland & Skalak (1991) die Nutzung von Regeln im CBR-Kontext durch eine dynamische *Kopplung jeweils autarker, gleichberechtigter CBR- und Rule-based Reasoning (RBR)⁴⁹-Systeme* vor (vgl. Rissland & Skalak, 1991, S. 853 f.). Spezifisches Wissen wird hier in Form von Fällen repräsentiert und in einer Fallbasis bereitgestellt, während generelles Wissen u. a. in Form von Regeln repräsentiert wird, die in einer separaten Regelbasis gespeichert sind (vgl. Rissland & Skalak, 1991, S. 855). Die Problemlösung erfolgt durch dynamische Zuweisung einzelner Schritte eines Problemlösungsprozesses zur CBR- bzw. RBR-Komponente des Gesamtsystems (vgl. Rissland & Skalak, 1991, S. 855). Im Gegensatz zum Ansatz von Wess (1995) ist daher eher von einer Kopplung mit Regeln als von einer Integration von Regeln zu sprechen. Zu den Vorteilen der dynamischen Kopplung jeweils autarker CBR- und RBR-Systeme zählt insbesondere die Möglichkeit des Ausgleichs der Nachteile der CBR-Komponente durch den Einsatz des vollen Funktionsspekt-

⁴⁹ RBR-Systeme bestehen aus den drei Komponenten Regelbasis, Fakten- oder Datenbasis und Regel-Interpreter (vgl. Davis & King, 1984, S. 21). Die Problemlösung erfolgt vereinfacht dargestellt durch eine Verknüpfung der in der Fakten- oder Datenbasis vorliegenden Fakten mit den Regeln in der Regelbasis: Der Regel-Interpreter versucht durch einen Abgleich jeder Regel mit Mustern in den Fakten anwendbare Regeln zu finden (Matching) (vgl. Davis & King, 1984, S. 21). Ist eine Regel anwendbar, wird ihre Konklusion ausgeführt und die Suche nach anwendbaren Regeln wird fortgeführt oder beginnt von vorn (vgl. Davis & King, 1984, S. 21).

rums, z. B. Vorwärts- und Rückwärtsverkettung⁵⁰, der RBR-Komponente (vgl. Rissland & Skalak, 1991, S. 876 f.). Ferner sind Regeln innerhalb der Regelbasis unabhängig von einzelnen Fällen in der Fallbasis, wodurch eine jeweils autarke Abbildung und Erweiterung spezifischen und generellen Wissens ermöglicht wird. Der Ansatz der Kopplung verspricht damit gegenüber dem Ansatz der Integration ein höheres Maß an Flexibilität und Wartbarkeit.

Daneben wird der Einsatz von *Ontologien* als Möglichkeit zur Repräsentation und Integration generellen Wissens in CBR-Systeme vorgeschlagen (vgl. Recio-Garía & Díaz-Agudo, 2007, S. 151 f.). Durch den Einsatz von Ontologien bietet sich im Gegensatz zu RBR-Systemen die Möglichkeit zur Trennung von Domänenwissen und Ausführungslogik, es resultieren Vorteile im Bezug auf Wart- und Erweiterbarkeit (vgl. Antoniou & van Harmelen, 2004, S. 322). Unter einer Ontologie ist im Kontext der KI eine explizite Spezifikation einer Konzeptualisierung (vgl. Gruber, 1993, S. 199) zu verstehen. Eine Ontologie stellt demnach (aus dem Blickwinkel der KI) eine abstrakte Sicht auf eine Domäne dar (Konzeptualisierung), in der alle Entitäten der Domäne sowie deren Beziehungen zueinander unmissverständlich und widerspruchsfrei definiert sind (explizite Spezifikation) (vgl. Breitman, Casanova, & Truszkowski, 2007, S. 17). Von vielen Autoren wird zusätzlich gefordert, dass die Spezifikation in maschinenverarbeitbarer Form erfolgt (vgl. z. B. Blumauer & Pellegrini, 2006, S. 12; Breitman u. a., 2007, S. 17; May, 2006, S. 488). Vereinfachend zusammengefasst dienen Ontologien der *formalen Repräsentation von Wissen über Entitäten und deren Beziehungen innerhalb einer Domäne* (vgl. Blumauer & Pellegrini, 2006, S. 12). Sie stellen damit eine statische Sammlung von Fakten dar und beschränken sich auf eine reine Beschreibung von Sachverhalten einer Domäne. Angaben zur Lösung spezifischer Probleme sind nicht enthalten. Ihnen liegt folglich das Paradigma der deklarativen Wissensrepräsentation (vgl. Kurbel, 1992, S. 36 f.) zugrunde. Zur Nutzung des in einer Ontologie repräsentierten Wissens im Rahmen von Problemlösungsprozessen bietet sich eine Kopplung z. B. mit regelbasierten Systemen an, die das Wissen zur

⁵⁰ Unter Vorwärtsverkettung ist ein Schlussfolgerungsprozess zu verstehen, bei dem ausgehend von den in einer Fakten- oder Datenbasis vorhandenen Fakten nach anwendbaren Regeln gesucht wird und durch Ausführung des Konklusionsteils anwendbarer Regeln neue Fakten abgeleitet werden, die wiederum in den Schlussfolgerungsprozess eingehen (vgl. Russell & Norvig, 1995, S. 272). Der Prozess endet, wenn die Ableitung neuer Fakten nicht mehr möglich ist (vgl. Beierle & Kern-Isberner, 2008, S. 82). Im Gegensatz dazu erfolgt bei einem als Rückwärtsverkettung bezeichneten Schlussfolgerungsprozess ausgehend von einer zu beantwortenden Fragestellung, einem Ziel, die Suche nach Regeln, deren Konklusion das Ziel enthält (vgl. Russell & Norvig, 1995, S. 272). Für gefundene Regeln wird jeweils die Prämisse geprüft, ist sie erfüllt, erfolgt die Anwendung der jeweiligen Regel (vgl. Russell & Norvig, 1995, S. 272). Ist eine Prämisse nicht erfüllt, wird sie zu einem Unterziel, für das wiederum nach Regeln gesucht wird, die es in ihrer Konklusion enthalten (vgl. Beierle & Kern-Isberner, 2008, S. 84).

Schlussfolgerung nutzen (vgl. Antoniou & van Harmelen, 2004, S. 321 f.). Im speziellen Kontext des CBR bieten Ontologien Einsatzpotenzial in den Bereichen der Fallrepräsentation, der Suche nach ähnlichen Fällen und insbesondere der Repräsentation generellen, für die Adaption gefundener Lösungen zu verwendenden Wissens (vgl. Recio-Garía & Díaz-Agudo, 2007, S. 152). Beispielsweise können basierend auf einer Spezifikation von Entitäten einer betrachteten Domäne als Individuen, ihrer Beziehungen zu anderen Entitäten derselben Domäne sowie ihrer Eigenschaften als Relationen in einer Ontologie wiederverwendbare, *semantische Methoden zur Anpassung* gefundener Lösungen definiert werden (vgl. Recio-Garía & Díaz-Agudo, 2007, S. 152/160 ff.). Dies sei beispielhaft in Anlehnung an Recio-García & Díaz-Agudo (2007) erläutert: Mithilfe eines CBR-Systems soll einem Nutzer eine Sportübung vorgeschlagen werden. Die Problembeschreibung eines Falls besteht aus persönlichen Eigenschaften des Nutzers, z. B. Alter, Geschlecht und Verletzungen. Die Lösung eines Falls umfasst eine einzelne Übung, z. B. Hantel- oder Lauftraining. Verschiedene Übungen werden einerseits als Teil von Erfahrungen durch einen (beliebigen) Formalismus zur Fallrepräsentation auf die Lösungsteile von Fällen abgebildet. Andererseits erfolgt (zusätzlich) die Repräsentation ihrer Eigenschaften und Beziehungen zu anderen Entitäten mittels einer Ontologie. Beispielsweise wird in der Ontologie spezifiziert, dass ein Individuum Hanteltraining in einer Beziehung beanspruchte_muskeln (Objekt-Property) zum Individuum Bizeps oder ein Individuum Lauftraining in einer Beziehung beanspruchte_muskeln zum Individuum Quadtrizeps stehen. Durch das CBR-System soll einem fünfunddreißigjährigen Mann mit einer Verletzung des Bizepses eine Übung vorgeschlagen werden. Findet das System einen ähnlichen Fall, der als Lösung die Übung Hanteltraining enthält, erfolgt durch Anwendung einer auf dem generellen, durch die Ontologie repräsentierten Wissen, dass Hanteltraining den Bizeps betrifft, aufbauenden Modifikationsregel eine Anpassung der Lösung in Form einer Substitution der Übung Hanteltraining durch eine Übung, die nicht in einer Beziehung beanspruchte_muskeln zum Individuum Bizeps steht, z. B. Lauftraining. (vgl. Recio-Garía & Díaz-Agudo, 2007, S. 159 ff.) In diesem Beispiel erfolgt die Anpassung von Lösungen durch die bereits diskutierte Kopplung von generellem, mittels einer Ontologie repräsentiertem Wissen und Regeln. Durch die Repräsentation des Wissens in der Ontologie besteht im Gegensatz zu den oben diskutierten rein regelbasierten Ansätzen die Möglichkeit zur Definition „abstrakter“ Regeln im Sinne von Regeln, deren Prämisse und/oder Konklusion durch Wissen, das in der Ontologie repräsentiert ist, konkretisiert wird. Recio-Garía & Díaz-Agudo (2007) sprechen in diesem Zusammenhang auch von wiederverwendbaren, semantischen Adaptions-

methoden, die – im Gegensatz zu rein regelbasierten Adaptionismethoden – durch Austausch der zugrundeliegenden Ontologie im Kontext verschiedener Domänen anwendbar sind (vgl. Recio-Garía & Díaz-Agudo, 2007, S. 152).

4.2.3 Problemlösungsprozesse in CBR-Systemen

In den letzten Kapiteln wurden zunächst zentrale Konzepte der Wissensrepräsentation in CBR-Systemen diskutiert. Die Aufgabe von CBR-Systemen liegt aber nicht allein in der Repräsentation und Verwaltung von spezifischem und generellem Wissen sondern vielmehr in der Anwendung dieses Wissens zur Lösung neuer Probleme. Ein auf dem CBR-Paradigma basierender Problemlösungsprozess umfasst mindestens die in Kapitel 4.2.1 allgemein und aus einer eher kognitionswissenschaftlichen Perspektive skizzierten Aufgaben. Zur logischen Ordnung der Aufgaben sowie zur strukturierten Analyse weiterer, mit ihnen verbundener Teilaufgaben werden in der Literatur verschiedene Prozessmodelle vorgeschlagen, die sich hauptsächlich hinsichtlich ihres Detaillierungsgrades voneinander unterscheiden (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 44 f.; Althoff u. a., 1992, S. 3 f.; Hammond, 1989; Kolodner u. a., 1985, S. 285; Slade, 1991, S. 45 ff.). Das von Aamodt & Plaza (1994) vorgeschlagene Prozessmodell ist in der Literatur am weitesten verbreitet. Aufgrund seines hohen Abstraktionsgrades ist es dazu geeignet, einen Großteil der in Forschung und Praxis implementierten CBR-Systeme zu charakterisieren (vgl. Wess, 1995, S. 26). Es wird daher in dieser Arbeit zur Diskussion durch CBR-Systeme gestützter Problemlösungsprozesse auf konzeptioneller Ebene verwendet.

Nach Aamodt und Plaza (1994) unterstützen oder automatisieren CBR-Systeme einen zyklischen, aus den vier Subprozessen Retrieve, Reuse, Revise und Retain⁵¹ bestehenden Problemlösungsprozess, der im Folgenden als CBR-cycle bezeichnet wird und in Abbildung 4-6 schematisch dargestellt ist (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 44).

⁵¹ Der Mehrzahl der deutschsprachigen Autoren folgend, wird in dieser Arbeit auf eine Übersetzung der zur Beschreibung zentraler Konzepte des CBR-Paradigmas verwendeten englischen Begriffe ins Deutsche verzichtet.

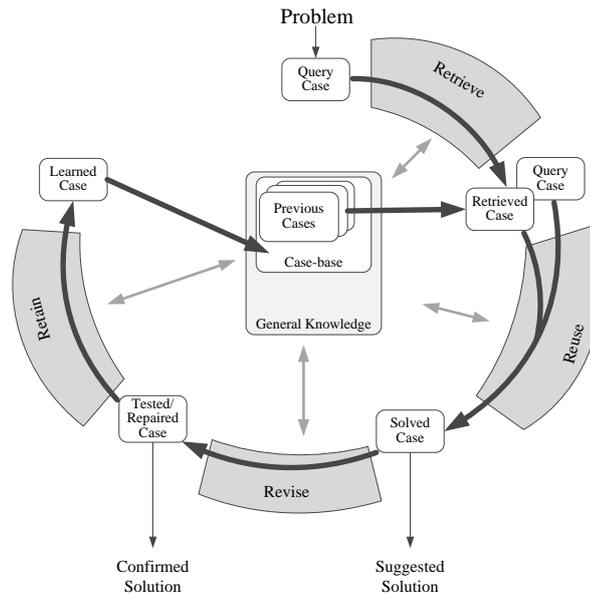


Abbildung 4-6: CBR-cycle

Quelle: (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 44)

Der CBR-cycle wird durch einen Agenten⁵² initiiert, der ein zu lösendes Problem erkennt und einem CBR-System eine Beschreibung des Problems (in beliebiger Form) als Input übergibt. Diese Beschreibung ist vor Beginn des eigentlichen CBR-cycles in einen sogenannten *Query Case*, d. h. einen Fall, der einen Beschreibungsteil, nicht aber einen Lösungsteil enthält (vgl. Richter, 2003, S. 411), zu transformieren.

Der CBR-cycle startet mit dem Subprozess **Retrieve**, in dem die Identifikation eines zur Lösung des Query Case zu verwendenden Falls in der Fallbasis erfolgt (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 49). Dazu werden zunächst, ggf. mithilfe generellen Domänenwissens oder durch Benutzerinteraktion, z. B. durch Schließen auf zusätzliche Attribute, Selektion von Attributen oder Prüfen von Constraints, für die Ähnlichkeitsbestimmung relevante Attribute in der Problembeschreibung des Query Case identifiziert (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 49 f.). Auf Basis dieser Attribute schließt sich die Suche nach einem zur Lösung des Query Case geeigneten, in der Fallbasis bereitgestellten *Previous Case* an, die sich in zwei Schritte zerlegen lässt (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 50). Im ersten Schritt erfolgt die Bestimmung der Ähnlichkeit zwischen dem Query Case und jedem Previous Case z. B. mittels eines Ähnlichkeitsmaßes (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 50). Aus der Menge an Previous Cases, deren Ähnlichkeit zum Query Case einen festgelegten Schwellenwert überschreitet, wird im zweiten Schritt entweder ausschließlich auf Basis der aus der Ähn-

⁵² Ein Agent kann hier sowohl ein (menschlicher) Benutzer eines CBR-Systems, als auch ein Computersystem sein, das mit dem CBR-System kommuniziert.

lichkeitsbestimmung resultierenden Präferenzrelation (vgl. Kapitel 4.2.2.4) oder auf Basis zusätzlicher, abgeleiteter Kriterien ein sogenannter *Retrieved Case*, d. h. ein zur Lösung des Query Case „am besten geeigneter“ Fall ausgewählt (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 50 f.).

Die Wiederverwendung des Lösungsteils des Retrieved Case zur Lösung der durch den Query Case repräsentierten Problemstellung erfolgt im sich anschließenden Subprozess **Reuse** (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 51). Eine triviale Art der Wiederverwendung stellt ein *direkter Transfer der Lösung* auf das neue Problem dar, der durch Kopieren des Lösungsteils des Retrieved Case in den (vorher leeren) Lösungsteil des Query Case realisierbar ist (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 51). Der direkte Lösungstransfer erweist sich als angemessen zur Lösung einfacher analytischer Probleme wie der Klassifikation (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 51). Die Lösung komplexerer Probleme bedingt insbesondere bei Vorliegen von signifikanten Abweichungen zwischen Attributausprägungen der Beschreibung des Retrieved Case und des Query Case eine *dem Transfer vorausgehende Adaption* der Lösung (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 51; Lopez De Mantaras u. a., 2005, S. 226). Dies ist z. B. der Fall bei der Problemlösung in der Medizin, bei der geringfügige Unterschiede in Problembeschreibungen stark abweichende Diagnosen oder Medikationen implizieren sowie bei synthetischen Problemstellungen (vgl. Lopez De Mantaras u. a., 2005, S. 226). Die Adaption kann einerseits erfolgen durch *direkte Modifikation* der Lösung des Retrieved Case (*transformational reuse*), z. B. mittels Substitution einzelner Attribute, andererseits durch *Wiederholung des Prozesses*, der zur Lösung des Retrieved Case geführt hat, unter Vermeidung oder Modifikation von Prozessschritten, die im Kontext eines neuen zu lösenden Problems ungeeignet sind (*derivational* oder auch *generative reuse*) (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 51; Lopez De Mantaras u. a., 2005, S. 227). Zur Sicherstellung der Korrektheit der Adaption, d. h. der grundsätzlichen Anwendbarkeit einer adaptierten Lösung in der Realwelt, setzen insbesondere Adaptionsstrategien, die auf direkte Veränderungen der Lösung zielen, das Vorliegen und den Einsatz von Adaptionswissen voraus (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 51; Wess, 1995, S. 36). Aus dem Subprozess Reuse resultiert ein erster Lösungsvorschlag, ein sogenannter *Solved Case* (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 44).

Im Rahmen des Subprozesses **Revise** folgt eine *Evaluation des Solved Case gegen die Realwelt*, d. h. der Lösungsvorschlag wird entweder auf das zu lösende, reale Problem angewandt und der Erfolg der Anwendung gemessen, er wird von einem Domänenexperten

begutachtet oder die Anwendung des Lösungsvorschlags wird simuliert (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 51 f.). Zeigt die Evaluation Fehler in der Lösung auf, erfolgt eine Analyse der Fehlerursachen und auf Basis der Fehlerursachen und Adaptionwissen eine *Modifikation der Lösung* (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 52). Im Ergebnis dieses Subprozesses liegt ein sogenannter *Tested* oder *Repaired Case* vor, der eine auf Basis von Feedback an die spezifischen Rahmenbedingungen des aktuell zu lösenden Problems angepasste Lösung enthält (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 44).

Die Abgrenzung der Subprozesse Reuse und Revise erweist sich aufgrund der in ihnen jeweils stattfindenden Modifikationen der Lösung als schwierig, so dass einige Autoren diese nicht unterscheiden, sondern zu einem einzigen Subprozess „Adaption“ zusammenfassen (vgl. z. B. Cunningham, 1998, S. 517). In dieser Arbeit wird der Interpretation von Lopez De Mantaras u. a. (2005) gefolgt, die beiden Subprozessen grundsätzlich die gleiche Funktionalität im Sinne der zur Modifikation eingesetzten Methoden und des eingesetzten generellen Wissens zuschreiben (vgl. Lopez De Mantaras u. a., 2005, S. 226 f.). Die Abgrenzung der Subprozesse erfolgt auf Basis der jeweiligen Ziele: der Subprozesses Reuse zielt auf die *Erstellung* eines ersten, brauchbaren Lösungsvorschlags während die Durchführung des Subprozesses Revise auf Basis von Feedback hinsichtlich der Anwendbarkeit des Lösungsvorschlags in einem spezifischen, realen Kontext auf eine *Verbesserung* der Lösung zielt (vgl. Lopez De Mantaras u. a., 2005, S. 227).

Der letzte Subprozess des CBR-cycle, **Retain**, dient der Integration der in den vorangehenden Phasen gewonnenen Erfahrungen in die Fallbasis und/oder das bereitgestellte generelle Wissen zur Wiederverwendung in späteren Problemlösungsprozessen (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 52 f.). In diesem Subprozess „lernt“ ein CBR-System aus seiner eigenen Erfahrung. Ein verbreiteter, trivialer Ansatz zur Integration der gewonnenen Erfahrungen besteht darin, den Repaired Case der Fallbasis unverändert als sogenannten *Learned Case* hinzuzufügen und einen neuen Index über alle Fälle in der Fallbasis aufzubauen (vgl. Aamodt & Plaza, 1994, S. 52 f.; Lopez De Mantaras u. a., 2005, S. 229). Die Integration gewonnener Erfahrungen führt in der Praxis neben der Notwendigkeit des Neuaufbaus eines Indexes zu einer Reihe von Problemen.⁵³ Von besonderer Bedeutung ist beispiels-

⁵³ Strategien zur Bewältigung der im Rahmen der Integration neuen Wissens in CBR-Systeme entstehenden Probleme sind unter dem Sammelbegriff Case-base Maintenance Gegenstand der Forschung (vgl. z. B. Lupiani, Craw, Massie, Juarez, & Palma, 2013; Reinartz, Iglezakis, & Roth-Berghofer, 2001; Roth-Berghofer, 2003; Yang & Zhu, 2001). Auf eine detaillierte Diskussion dieser Forschungsrichtung wird hier verzichtet, da dem Subprozess Retain im weiteren Verlauf nur eine untergeordnete Bedeutung zukommt.

weise die Bewältigung des Zielkonflikts zwischen den Vorteilen einer Steigerung der Anzahl in einer Fallbasis bereitgestellter Fälle, z. B. einer wachsenden Menge an lösbaren Problemen oder einer höheren Qualität der Lösungen, und der mit der Anzahl an Fällen sinkenden Performanz eines CBR-Systems, insbesondere des Subprozesses Retrieve (vgl. Smyth & Cunningham, 1996, S. 394 f.).

4.2.4 Potenziale und Grenzen von CBR-Systemen zur prognostischen Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung

Die grundsätzliche Eignung von CBR als Methode zur Konzeption eines wissensgetriebenen DSS wurde in Kapitel 4.1.4 bereits aufgezeigt. Das Ziel dieses Kapitels besteht darin, auf Basis der in den vorigen Kapiteln diskutierten, grundlegenden CBR-Konzepte und des in Kapitel 3 explizierten Prognosebedarfs Einsatzpotenziale und Grenzen von CBR-Systemen im Hinblick auf die prognostische Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung, insbesondere auf die mit bislang dokumentierten Methoden nicht zu fundierende Terminplanung, aufzuzeigen. Damit werden auch die im Anschluss diskutierten Anpassungen und Erweiterungen der Wissensrepräsentation und des Problemlösungsprozesses prognoseorientierter CBR-Systeme motiviert.

CBR-Systeme eignen sich zur Problemlösung insbesondere in Domänen, in denen Erfahrungen eine besondere Rolle spielen und in denen die Erstellung quantitativer Modelle zur Problemlösung aufgrund nicht vollständig verstandener oder explizierbarer Kausalitätsbeziehungen nicht oder nur mit prohibitivem Aufwand erfolgen kann (vgl. Beierle & Kern-Isberner, 2008, S. 164; Kolodner, 1993, S. 25). Diese Charakteristika finden sich z. B. in Domänen, die stark durch menschliches Verhalten geprägt sind (vgl. Kolodner, 1993, S. 25). In derartigen Domänen erweisen sich CBR-Systeme z. B. gegenüber auf quantitativen Modellen oder RBR beruhenden Systemen (vgl. z. B. modellgetriebene DSS in Kapitel 4.1.3) als vorteilhaft. Denn sie setzen nicht die Erstellung kausaler Domänenmodelle, sondern „lediglich“ die Repräsentation bereits vorliegender Erfahrungen in maschinenverarbeitbarer Form voraus, so dass der Aufwand der Wissensakquisition im Vergleich mit den genannten Alternativen reduziert werden kann (vgl. hierzu auch Cunningham, 1999, S. 371; Watson & Marir, 1994, S. 328). Wie die Ausführungen des Kapitels 3 zeigen, sind in der Literatur diskutierte quantitative und qualitative Methoden zur Prognose von Studierenden- und Teilnehmerzahlen in der Domäne der hochschulinternen Kapazitätsplanung ungeeignet. Aufgrund der hohen Komplexität der Curricula sowie der Abhängigkeit auf verschiedensten Aggregationsniveaus zu prognostizierender Größen (Studierendenzahl)

von individuellen studentischen Wahlentscheidungen, d. h. von menschlichem Verhalten, sind bspw. kausale, quantitative Prognosemodelle nur mit großem Aufwand erstellbar (vgl. Kapitel 3.3.3). Im Gegensatz dazu liegen implizit Erfahrungen von Studierenden, z. B. individuelle Studienverläufe, sowie von Mitgliedern des Hochschulmanagements, z. B. Teilnehmerzahlen an Modulen oder Klausuren im Zeitablauf, in maschinenverarbeitbarer Form in sogenannten Campus-Management-Systemen (CMS) oder hochschulweiten Data Warehouses vor. Diese stellen u. a. den gesamten studentischen Lebenszyklus sowie die Kapazitätsplanung betreffende Daten in einer gemeinsamen Datenbasis bereit (vgl. Alt & Auth, 2010, S. 186; Rieger u. a., 2009, S. 524). Insbesondere handelt es sich dabei um *personenbezogene Daten* der Studierenden, die in Prozessen wie der Bewerbung um einen Studienplatz oder der Zulassung verarbeitet werden sowie um *Daten, die im Rahmen der Abwicklung von Prüfungsverwaltungsprozessen anfallen* und z. B. zur Generierung von Leistungsnachweisen oder generell zur Dokumentation von Prüfungsleistungen benötigt werden (vgl. Alt & Auth, 2010, S. 187). Damit besteht das Potenzial zur Erstellung einer Fallbasis durch Aufbereitung der in CMS oder hochschulweiten Data Warehouses bereitgestellten Daten. Die Charakteristika der Domäne legen zusammenfassend den Einsatz von CBR-Systemen zur Prognose von Studierenden- und Teilnehmerzahlen nahe.

Auch die Eignung von CBR-Systemen zur Prognose wurde durch eine Vielzahl wissenschaftlicher Beiträge nachgewiesen (vgl. z. B. Chang, Liu, & Lai, 2008; Fdez-Riverola & Corchado, 2003; Jære, Aamodt, & Skalle, 2002; Liu & Leung, 2001; Tsai, 2009). Voraussetzung für den Einsatz von CBR-Systemen zu Prognosezwecken ist die *Repräsentation von Komponenten einer Erfahrung oder Eigenschaften einer Entität im Zeitablauf* (vgl. Montani & Portinale, 2005, S. 354). Diese kann z. B. bei objektorientierten Fallrepräsentationen mittels relationaler Attribute erfolgen, ein abzubildender Zeitabschnitt wird hierbei wie in Abbildung 4-7 dargestellt durch ein relationales Attribut repräsentiert (vgl. Jære u. a., 2002, S. 180).

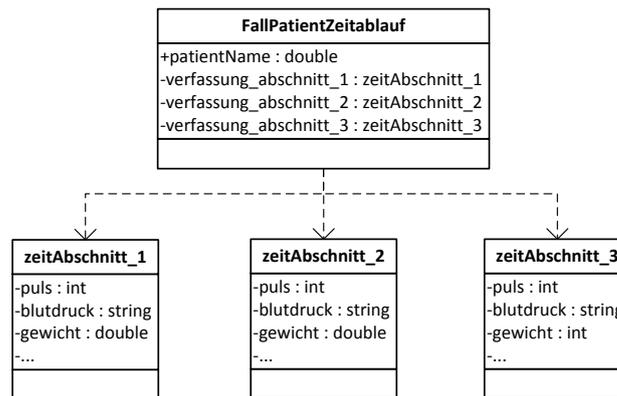


Abbildung 4-7: Objektorientierte Repräsentation zeitabhängiger Komponenten einer Erfahrung

Quelle: Eigene Darstellung

Dokumentierte Ansätze zur Repräsentation zeitabhängiger Komponenten einer Erfahrung weisen allerdings zwei gravierende Nachteile auf. Erstens muss die Menge an abzubildenden Zeitabschnitten bei der Aufstellung des Domänenmodells (vgl. Kapitel 4.2.2.2) bekannt sein und für alle Fälle durch Definition einer Menge relationaler Attribute eindeutig spezifiziert werden (vgl. Jære u. a., 2002, S. 187). Auf den in Abbildung 4-7 dargestellten Fall kann beispielsweise eine Krankengeschichte eines Patienten mit nur maximal drei Zeitabschnitten (z. B. Monaten) abgebildet werden. In Domänen, in denen Entitäten z. B. unterschiedlich lange Lebenszyklen oder Historien dokumentierter Eigenschaften aufweisen, scheiden derartige Ansätze aus. Zweitens erfolgt die Berücksichtigung des Zeitablaufs ausschließlich im Hinblick auf die Problembeschreibung von Fällen (vgl. Montani & Portinale, 2006, S. 211), während die Lösung vielfach aus nur genau einem einfachen Attribut besteht (vgl. z. B. Fdez-Riverola & Corchado, 2003, S. 325). Da die Lösung eines Solved Case bei prognoseorientierten CBR-Systemen als Prognose interpretiert wird (vgl. z. B. Fdez-Riverola & Corchado, 2003, S. 325), ist mit den in der Literatur dokumentierten CBR-Systemen folglich jeweils die *Prognose nur eines einzelnen Parameters* möglich.

In Kapitel 3.2.2 wurde die Notwendigkeit der Prognose von Studienverläufen einzelner Studierender zur Fundierung der Terminplanung auf operativer Ebene hochschulinterner Planungssysteme erläutert. Es besteht damit ein Bedarf an Prognosen nicht eines einzelnen, sondern mehrerer Parameter, nämlich der Belegung mehrerer verschiedener Module oder Klausuren zu verschiedenen Zeitpunkten. Um diesen Bedarf decken zu können, sind die dargestellten Ansätze zur Prognose mittels CBR-Systemen um eine Möglichkeit zur *gleichzeitigen Prognose mehrerer Parameter* (mehrere Module oder Klausuren und deren jeweiliger Belegungszeitpunkt) zu erweitern. Ferner resultiert Erweiterungs- bzw. Anpassungsbedarf hinsichtlich der Möglichkeiten zur Repräsentation zeitabhängiger Attribute in

der Problembeschreibung von Fällen. Denn zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t liegen Unterschiede hinsichtlich bereits realisierter Studienverläufe unterschiedlicher Studierender vor, die bei einer Abbildung von Studierenden bzw. Studienverläufen auf Fälle berücksichtigt werden müssen. Insbesondere bestehen bis t realisierte Studienverläufe je nach Zeitpunkt des Studienbeginns n einzelner Studierender aus einer unterschiedlichen Anzahl an Semestern ($t - n$ Zeitabschnitte). Folglich ist ein geeigneter Formalismus zur Fallrepräsentation auszuwählen, der die Möglichkeit einer Erweiterung hinsichtlich einer in Abhängigkeit bereits realisierter Studienverläufe *dynamischen Festzulegen der Menge in eine Fallbeschreibung aufzunehmender Zeitabschnitte* bietet. Aus dieser Erweiterung resultieren Fälle mit einer je repräsentiertem Studienverlauf unterschiedlichen Anzahl an Attributen und damit eine *heterogene Fallbasis*, die zu *Problemen im Subprozess Retrieve* führen kann (vgl. Kapitel 4.2.2.3).

Besondere Anforderungen sind auch an die Repräsentation und Nutzung generellen Wissens zu stellen. Studienverläufe sind einerseits durch in Prüfungsordnungen definierte Anforderungen an ein ordnungsgemäßes Studium determiniert und andererseits durch individuelle studentische Präferenzen geprägt (vgl. Kapitel 3.2.2). Wissen hinsichtlich der Anforderungen und Präferenzen ist nur implizit in Fällen enthalten, so dass geeignete Formen der Repräsentation und Verwendung zu finden sind.

Zur Berücksichtigung der Abhängigkeiten zwischen Studienverläufen und Prüfungsordnungen ist generelles Wissen z. B. hinsichtlich festgelegter Wahlmöglichkeiten oder Pflichtbestandteile eines Studiengangs in geeigneter Form zu repräsentieren und im Rahmen des Prognoseprozesses zu verwenden. Von entscheidender Bedeutung ist dabei die Erweiterbarkeit des repräsentierten Wissens. Denn Prüfungsordnungen werden regelmäßig, z. B. im Rahmen von Reakkreditierungsprozessen, angepasst, erweitert oder erneuert, so dass bei der Prognose zu berücksichtigende Anforderungen an das Studium sich regelmäßig ändern. Der in Kapitel 4.2.2.4 erläuterte Ansatz zur *Repräsentation generellen Wissens durch Ontologien und deren Kopplung mit abstrakten Regeln* ist zur Erfüllung dieser Anforderung geeignet. Die Anwendbarkeit auf verschiedenste Studiengänge mit jeweils unterschiedlichen Prüfungsordnungen oder die Anpassung an überarbeitete Prüfungsordnungen ist durch Austausch oder Anpassung der zugrundeliegenden Ontologie realisierbar, während Regeln nicht angepasst werden müssen.

Problematischer gestaltet sich eine explizite Berücksichtigung individueller studentischer Präferenzen. Der in Kapitel 4.2.3 vorgestellte CBR-cycle sieht zwar eine Adaption von

Lösungen im Subprozess *Revise* vor. Diese erfolgt allerdings entweder automatisiert oder durch *einen* Domänenexperten (vgl. Kapitel 4.2.3). Zur expliziten Berücksichtigung individueller Präferenzen durch eine Adaption der Lösungen ist der Subprozess so zu gestalten, dass einzelne Studierende einen für sie prognostizierten Studienverlauf an ihre Präferenzen anpassen können, eine *Erweiterung des Subprozesses Revise* zur *zeitasynchronen Einbindung mehrerer Domänenexperten* (Studierende) ist damit erforderlich.

5 Konzept eines zusammengesetzten DSS zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung

Im vorigen Kapitel wurde durch die Gegenüberstellung der methodischer Grundlagen von DSS und CBR-Systemen mit den besonderen Anforderungen der prognostischen Fundierung aller Ebenen der hochschulinternen Kapazitätsplanung die grundsätzliche Eignung von CBR-Systemen und datengetriebenen DSS zur Prognoseerstellung und zur Bereitstellung von Prognoseergebnissen dargelegt. Auf dieser Basis wird in diesem Kapitel ein *Konzept* eines zusammengesetzten DSS entwickelt, das ein CBR-System mit einem datengetriebenen DSS kombiniert und Entscheidungsträger der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme *durch Erstellung und Bereitstellung von Prognosen der Kapazitätsnachfrage unterstützt*.

Ausgehend vom zur Fundierung der Terminplanung geforderten Prognosegegenstand wird in Kapitel 5.1 ein integrierter Ansatz zur prognostischen Fundierung aller Teilaufgaben der hochschulinternen Kapazitätsplanung vorgeschlagen, der im Kern auf der *Prognose individueller Studienverläufe* und deren *Aggregation* basiert. Zur Realisierung dieses Ansatzes wird ein ganzheitliches Architektur-Konzept eines *zusammengesetzten DSS* vorgestellt. Eine detaillierte Erläuterung der einzelnen Architekturkomponenten des Systems und ihrer jeweiligen Aufgaben schließt sich in den Kapiteln 5.2 und 5.3 an. Im Mittelpunkt steht dabei die Darstellung der im letzten Kapitel motivierten *Anpassungen* und *Erweiterungen der Wissensrepräsentation in CBR-Systemen und des CBR-cycles*⁵⁴. Abschließend zeigt die Diskussion des Zusammenspiels der Komponenten das Einsatzpotenzial des Konzepts.

5.1 Gesamtkonzept

5.1.1 Ein integrierter Ansatz zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems

In Ermangelung einer adäquaten Methode zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems (vgl. Kapitel

⁵⁴ Der Mehrzahl der deutschsprachigen Autoren folgend, wird in dieser Arbeit auf eine Übersetzung der zur Beschreibung zentraler Konzepte des CBR-Paradigmas verwendeten englischen Begriffe ins Deutsche verzichtet. Dementsprechend werden auch Erweiterungen und Anpassungen des Paradigmas, die im Rahmen dieses Kapitels zu diskutieren sind, mit englischsprachigen Begriffen bezeichnet.

3.3.3) wird in diesem Kapitel durch eine Bottom-Up Analyse, ausgehend vom Prognosebedarf der Terminplanung, ein neuer, integrierter Ansatz der Prognoseerstellung und -bereitstellung erarbeitet. Im Kern basiert der Ansatz auf der *Prognose individueller Studienverläufe* und bietet durch *Integration geeigneter Aufbereitungen dieser Prognose* das Potenzial zur *flexiblen Bereitstellung von Prognosen* in von Entscheidungsträgern auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme verwertbarer Form.

Zur Fundierung der **Terminplanung** werden in Hochschulen u. a. Prognosen der Studienverläufe einzelner Studierender benötigt (vgl. Kapitel 3.2.2). Das heißt für jeden einzelnen, zwischen einem Planungszeitpunkt t und einem Planungshorizont $t + n$ ⁵⁵ immatrikulierten Studierenden sind die auf t folgenden Modul- oder Klausurteilnahmen zu prognostizieren. Die Zahl der in einem Semester an einem Modul oder einer Klausur teilnehmenden Studierenden – die Teilnehmerzahl – ist eine distributive⁵⁶ Funktion der Belegung des Modules oder der Klausur durch einzelne Studierende. Sie ergibt sich durch Bestimmung der Anzahl derjenigen Studierenden, deren Studienverlauf das Modul oder die Klausur in einem bestimmten Semester enthält. Die zur Fundierung der Terminplanung ebenfalls geforderte Prognose mit dem Gegenstand Teilnehmerzahl auf dem Aggregationsniveau einzelner Module oder Klausuren (vgl. Kapitel 3.2.2) ist folglich *durch die Aggregation* in prognostizierten Studienverläufen enthaltener Module oder Klausuren *substituierbar*. Zu beachten ist dabei die potenzielle Verwendung einzelner Module oder Klausuren in verschiedenen Studiengängen (vgl. Kapitel 2.1.1.1). Aufgrund dieser Mehrfachverwendung nehmen Studierende verschiedener Studiengänge an denselben Modulen teil. Die vorgeschlagene Substitution bedingt daher die *Prognose individueller Studienverläufe aller Studierender einer Hochschule*, unabhängig von deren Studiengang. In Abbildung 5-1 wird dies am Beispiel einer Prognose von Studienverläufen zweier Studierender verschiedener Studiengänge (Student A → Studiengang A und Student B → Studiengang B) mit einem Prognosehorizont von $n = 2$ Semestern ($t + n - 1$ und $t + n$) verdeutlicht.

⁵⁵ n ist die Anzahl an auf den Planungszeitpunkt folgenden Semestern, für die eine Planung durchgeführt wird.

⁵⁶ Zur Aggregation verwendete Funktionen sind zu klassifizieren in distributive, algebraische und holistische Funktionen (vgl. Gray u. a., 1997, S. 48). In die Klasse der distributiven Funktionen fallen z. B. die aus der SQL-Syntax bekannten Funktionen COUNT(), MIN(), MAX() und SUM() (vgl. Gray u. a., 1997, S. 48). Im vorliegenden Beispiel kann die Funktion COUNT() verwendet werden, um die Teilnehmerzahl an einem Modul oder einer Klausur zu berechnen.

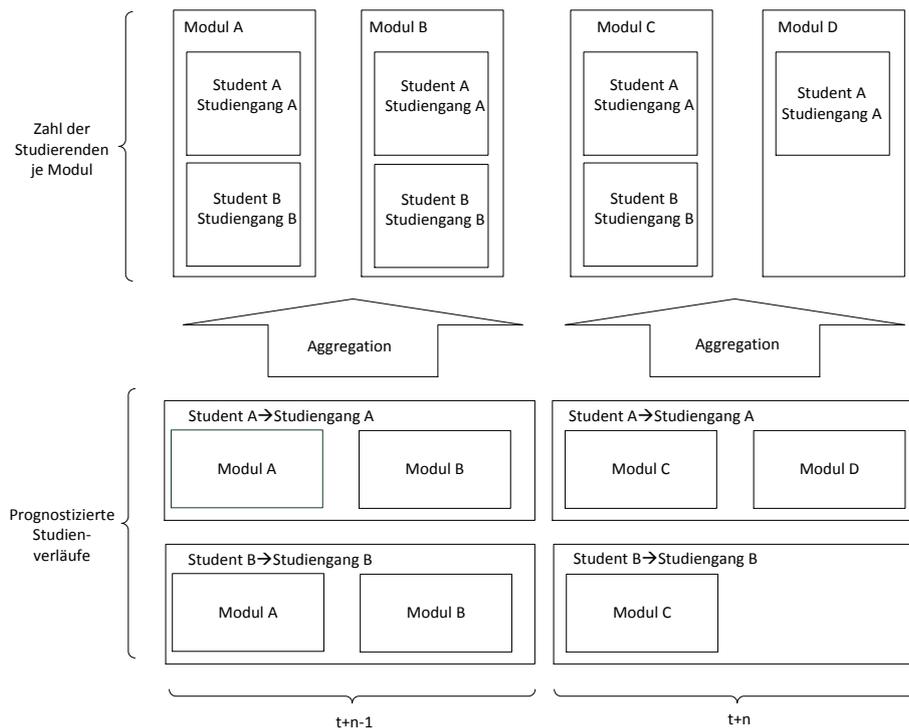


Abbildung 5-1: Substitution der Prognose der Zahl der Studierenden je Modul durch Aggregation

Quelle: Eigene Darstellung

Bspw. liegt für das Semester $t + n$ für Student A ein prognostizierter Studienverlauf mit der Belegung der Module C und D vor, für Student B ein prognostizierter Studienverlauf nur mit der Belegung des Moduls C. Ergebnis einer Aggregation der in den Studienverläufen enthaltenen Module (im Sinne der Bestimmung der Anzahl an Studienverläufen, in denen ein betrachtetes Modul enthalten ist) auf das Niveau eines Moduls ist für Modul C eine Teilnehmerzahl von zwei (Student A + Student B), für Modul D von eins (Student A). Im Falle einer Prognose individueller Studienverläufe nur für Studierende des Studiengangs A ergäbe sich für Modul C eine abweichende, falsche Teilnehmerzahl. Denn die Teilnahme des in Studiengang B immatrikulierten Studierenden B würde nicht prognostiziert und somit auch bei der Aggregation nicht berücksichtigt.

Durch Aggregation in prognostizierten Studienverläufen enthaltener Module oder Klausuren auf das Niveau einzelner Lehr- oder Fachbereiche lässt sich in äquivalenter Weise auch der in Kapitel 3.2.1 erläuterte Prognosebedarf der **Kapazitätsbelegung** decken. Dies ist in Abbildung 5-2, in der das Beispiel aus Abbildung 5-1 aufgegriffen wird, beispielhaft dargestellt: Die für die Studenten A und B für das Semester $t + n$ prognostizierten Modulbelegungen werden auf das Niveau einzelner Fachbereiche aggregiert. Ergebnis der

Aggregation ist für Fachbereich A, der das Modul C anbietet, eine Teilnehmerzahl von zwei, für Fachbereich B, der das Modul D anbietet, von eins.

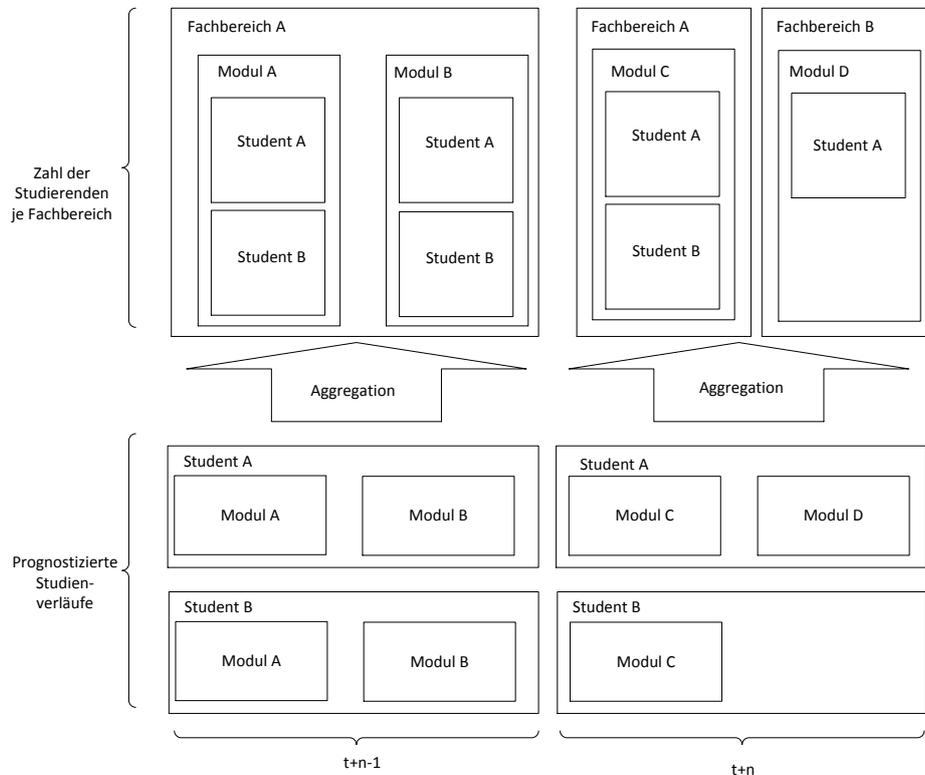


Abbildung 5-2: Substitution der Prognose der Zahl der Studierenden je Fachbereich durch Aggregation

Quelle: Eigene Darstellung

Zur Fundierung der **Kapazitätsdimensionierung** als Teilaufgabe der Kapazitätsplanung auf strategisch-taktischer Ebene des hochschulinternen Planungssystems sind u. a. Prognosen mit dem Gegenstand der Zahl der Studierenden mit dem minimalen Aggregationsniveau eines Moduls und dem maximalen Aggregationsniveau eines Fachbereichs notwendig (vgl. Kapitel 3.1.2). Dieser Bedarf ist durch Summation derjenigen Studierenden, für die Modulteilnahmen prognostiziert wurden, auf die Niveaus Modulart, Fachgebiet, Studiengang, Institut und Fachbereich erfüllbar. Durch gleichzeitiges Filtern z. B. nach den Merkmalen Regelstudienzeit oder Anzahl der Fachsemester, können darüber hinaus die in Kapitel 3.1.2 geforderten Prognosen mit den Gegenständen Zahl der Studierenden in Regelstudienzeit und Zahl der Studierenden in den ersten zwei oder vier Fachsemestern substituiert werden. Dies sei anhand des in Abbildung 5-2 dargestellten Beispiels verdeutlicht: In Semester $t + n$ befinde sich Student A im fünften, Student B im dritten Fachsemester. Ergebnis der Anwendung eines Filters auf die ersten vier Fachsemester ist dann für Fach-

bereich A eine Zahl der Studierenden in den ersten vier Fachsemestern von eins für Fachbereich B von null.

Eine äquivalente Vorgehensweise führt schließlich zur Substitution der zur Fundierung der Festlegung einer **Kapazitätsstrategie** geforderten Prognosen (vgl. Kapitel 3.1.1) durch Summation der Studierenden, für die Modulteilnahmen prognostiziert wurden, auf das Niveau einer gesamten Hochschule und ggf. durch gleichzeitiges Filtern.

Die Gegenstände der zur Fundierung der Kapazitätsplanung auf beiden Ebenen des hochschulinternen Planungssystems benötigten Prognosen lassen sich zusammenfassend auf prognostizierte Studienverläufe einzelner Studierender zurückführen. Die Unterstützung verschiedener an der Kapazitätsplanung beteiligter Entscheidungsträger im Sinne einer prognostischen Fundierung der Planung kann durch geeignete Aggregation und Filterung prognostizierter Studienverläufe bzw. Modul- und Klausurbelegungen sowie Summation von Studierenden, für die Modul- und Klausurbelegungen prognostiziert wurden, erfolgen, sofern Prognosen für alle Studierende einer Hochschule vorliegen. Eine Einschränkung resultiert daraus, dass der Prognosehorizont mit der betrachteten Ebene des hochschulinternen Planungssystems sowie mit der Teilaufgabe der Kapazitätsplanung divergiert (vgl. Kapitel 3.1; 3.2). Wird eine Fundierung unterschiedlicher Teilaufgaben auf beiden Ebenen des Planungssystems durch Aggregation und Filterung prognostizierter Studienverläufe bzw. Summation angestrebt, muss für die Prognose der Studienverläufe ein ausreichend langer, d. h. ein an dem Bedarf der Teilaufgabe mit der größten zeitlichen Reichweite orientierter, Prognosehorizont gewählt werden. Vor dem Hintergrund der Ausführungen der Kapitel 3.1 und 3.2 ist folglich eine Prognose individueller Studienverläufe von Studierenden verschiedener Studiengänge (Gegenstand der Prognose) mit einem Prognosehorizont von mindestens drei Jahren (zur Fundierung der Festlegung einer Kapazitätsstrategie benötigter Prognosehorizont; vgl. Kapitel 3.1.1) zu erstellen. Zur Unterstützung von Entscheidungsträgern sowohl des operativen als auch des strategischen Hochschulmanagements (mit Informationen zu unterstützende Entscheidungsträger) sind diese Prognosen auf die Niveaus Modul, Modulart, Lehrbereich, Fachgebiet, Fachbereich und Hochschule zu aggregieren (benötigtes Aggregationsniveau). Das Konzept eines zusammengesetzten DSS zur Umsetzung dieses Ansatzes wird im folgenden Kapitel überblicksartig beschrieben.

5.1.2 Grobkonzept eines zusammengesetzten DSS zur Realisierung des Ansatzes

Zur Umsetzung des im vorigen Kapitel erläuterten Ansatzes wird im Folgenden das Konzept eines *zusammengesetzten DSS* vorgestellt. Dessen *Potenzial zur prognostischen Fundierung* der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme resultiert aus der *Kombination* einer auf dem *CBR-Paradigma basierenden und damit wissensgetriebenen Komponente* (kurz CBR-Komponente) mit einer auf den *Konzepten datengetriebener DSS basierenden Komponente* (kurz datengetriebene Komponente) (vgl. Abbildung 5-3).

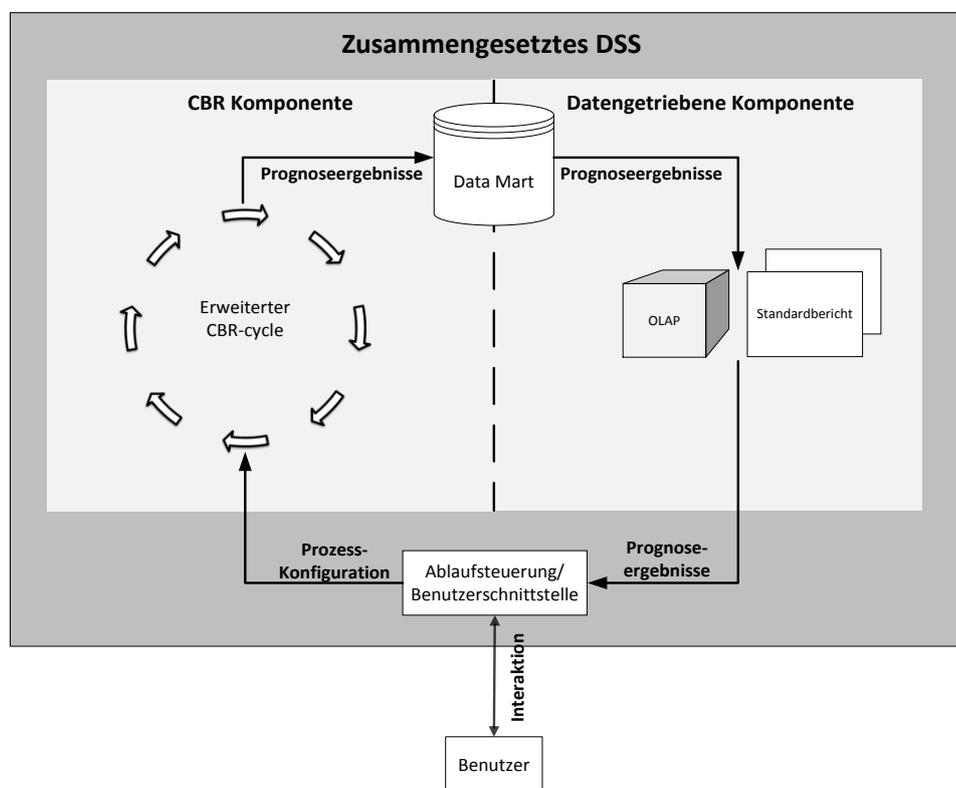


Abbildung 5-3: Grobkonzept eines zusammengesetzten DSS

Quelle: Eigene Darstellung

Die **CBR-Komponente** zielt auf die *automatisierte Erstellung von Prognosen individueller Studienverläufe* für eine *beliebige Anzahl an Studierenden verschiedener Studiengänge* einer Hochschule mit einem *Prognosehorizont von bis zu drei Jahren*. Die Erstellung der Prognosen basiert im Kern auf der *Wiederverwendung von Erfahrungen ähnlicher Studierender*, die in ihrem Studium zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung weiter fortgeschritten sind als ein Studierender, für dessen Studienverlauf die Prognose zu erstellen ist. Die zentrale Annahme besteht hierbei darin, dass *ähnliche Studierende ähnliche Präferenzen und*

Fähigkeiten aufweisen, die in *ähnlichen Studienverläufen* resultieren. Von zentraler Bedeutung für die Realisierung des mit der CBR-Komponente verfolgten Ziels sind *Anpassungen und Erweiterungen* des CBR-Paradigmas, die in Kapitel 4.2.4 durch die Analyse der Einsatzpotenziale und Grenzen klassischer CBR-Systeme motiviert wurden. Sie betreffen erstens den verwendeten *Repräsentationsformalismus zur Abbildung des im Rahmen des CBR-cycles genutzten, spezifischen Wissens*, der Erweiterungen erfährt, die insbesondere die Abbildung divergierender Studienverläufe und die Prognose mehrerer Parameter ermöglichen. Zweitens betreffen Anpassungen und Erweiterungen den *CBR-cycle*. Dieser wird zum einen um zusätzliche Subprozesse ergänzt, um bspw. die Anforderungen einer automatisierten Prognoseerstellung für eine beliebige Anzahl an Studierenden und der zeit-asynchronen Einbindung mehrerer Domänenexperten (Studierender) (vgl. Kapitel 4.2.4) erfüllen zu können. Andererseits erfolgt die Erweiterung im klassischen CBR-cycle vorhandener Subprozesse, um Anforderungen, die aus den Anpassungen und Erweiterungen der Repräsentationsformalismen resultieren, zu erfüllen.

Mittels der CBR-Komponente erstellte Prognosedaten sowie prognosebezogene Metadaten werden geeignet aufbereitet in einen *multidimensional modellierten Data Mart* geladen, der das Datenbanksystem der datengetriebenen Komponente darstellt. Dem Data Mart kommt damit die Funktion einer Schnittstelle zwischen beiden Komponenten zu.

Die **datengetriebene Komponente** zielt auf die Bereitstellung von Prognoseergebnissen in einer Form, die von diversen Entscheidungsträgern der hochschulinternen Kapazitätsplanung verwertbar ist. Sie realisiert den Ansatz der Substitution von Prognosen, die für verschiedene Teilaufgaben der hochschulinternen Kapazitätsplanung benötigt werden, durch geeignete Aufbereitungen mittels der CBR-Komponente prognostizierter Studienverläufe. Die multidimensionale Speicherung von *Prognoseergebnissen* in einem Data Mart und die Präsentation der Daten durch ein *Berichtswesen mit Standard- und analytischen Berichten* erlaubt die Versorgung von Entscheidungsträgern verschiedener Ebenen der hochschulinternen Kapazitätsplanung mit *prognostischen Informationen* auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus.

Eine zentrale, in die **Benutzerschnittstelle integrierte Ablaufsteuerung** regelt den Zugriff auf die Komponenten des zusammengesetzten DSS. Sie erlaubt die Konfiguration der CBR-Komponente, insbesondere die Gestaltung und Konfiguration verschiedener Subprozesse des angepassten und erweiterten CBR-cycles, sowie den Zugriff auf die durch die

datengetriebene Komponente bereitgestellten Berichte und Analysefunktionalitäten. Durch eine Integration grafischer Navigationshilfen, textueller Erläuterungen einzelner Komponenten und Funktionen sowie im Bedarfsfall dynamisch einblendbarer Hinweistexte wird der Benutzer bei der Konfiguration und Durchführung von Prognosen unterstützt und Schritt für Schritt durch das System geführt.

Im folgenden Kapitel 5.2 wird zunächst die CBR-Komponente detailliert erläutert, wobei der Fokus auf den Anpassungen und Erweiterungen der Repräsentationsformalismen (Kapitel 5.2.1) und des CBR-cycles (Kapitel 5.2.2) liegt. Eine Diskussion der durch die datengetriebene Komponente realisierten Unterstützungsfunktionalität im Hinblick auf die hochschulinterne Kapazitätsplanung schließt in Kapitel 5.3 an.

5.2 Die CBR-Komponente

5.2.1 Repräsentation individueller studentischer Erfahrungen durch Fälle

5.2.1.1 Grundstruktur eines Falls

Zur Erreichung des mit der konzipierten CBR-Komponente verfolgten Ziels erfolgt die Abbildung aller Studierender und Alumni aller an einer Hochschule zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t angebotener Studiengänge, samt derer bis t realisierten Studienverläufe, auf jeweils einen Fall. Ein Fall repräsentiert damit *einen einzelnen Studierenden und dessen individuelle, bis t hinsichtlich der Belegung einzelner Module gesammelte, entlang Studiengängen und Semestern strukturierte Erfahrung.*

Individuelle Erfahrungen unterschiedlicher Studierender weisen *divergierende Strukturen* auf. Zwar kann eine Beschreibung einzelner Studierender durch ein jeweils gleiches Set an personenbezogenen Attributen, wie z. B. Geschlecht oder Alter, erfolgen. Allerdings liegen hinsichtlich individueller, durch verschiedene Studierende vor t realisierter Studienverläufe Unterschiede vor:

Erstens können verschiedene Studierende bis t jeweils mehrere, unterschiedliche Studiengänge erfolgreich oder erfolglos studiert haben oder noch studieren. Für jeden dieser Studiengänge liegt ein individueller Studienverlauf vor. Ein Alumnus A habe bspw. in $t - 3$ einen Bachelorstudiengang abgeschlossen. Seine individuelle Erfahrung umfasst damit genau einen (vollständigen) Studienverlauf. Ein Studierender B habe dem gegenüber in $t - 3$ einen Bachelorstudiengang abgeschlossen und sich in $t - 1$ im zweiten Semester

eines konsekutiven Masterstudiengangs befunden. Seine individuelle Erfahrung umfasst damit zwei Studienverläufe, einen vollständigen (Bachelor) und einen unvollständigen (Master). Individuelle Erfahrungen können folglich eine *unterschiedliche Anzahl an Komponenten* (vom Typ Studienverlauf) umfassen.

Zweitens können bis t realisierte Studienverläufe unterschiedlicher Studierender – je nach Zeitpunkt der Ersteinschreibung in einen betrachteten Studiengang – aus einer unterschiedlichen Anzahl an Semestern bestehen (vgl. auch Kapitel 4.2.4). Alumnus A habe bspw. sein Bachelorstudium in sechs Semestern, Studierender B in acht Semestern beendet, so dass der (Bachelor-) Studienverlauf des Studierenden B entsprechend zwei Semester mehr umfasst als der des Alumnus A. Ist der Zeitpunkt der Ersteinschreibung eines Studierenden gleich t umfasst ein Studienverlauf kein Semester. Eine Komponente vom Typ Studienverlauf besteht damit aus *keiner, einer oder mehreren zeitabhängigen Komponenten* (vom Typ Semester), deren *Anzahl ggf. je repräsentiertem Studierenden variiert*.

Drittens können Semester je nach Wahlverhalten oder Fähigkeiten eines repräsentierten Studierenden unterschiedlich viele Module oder Klausuren beinhalten. Eine Komponente vom Typ Semester besteht damit aus *keiner, einer oder mehreren Komponenten* (vom Typ Modul oder Klausur).

Die zu repräsentierenden Erfahrungen zeichnen sich zusammenfassend durch eine komplexe, je Erfahrung unterschiedliche Struktur verschiedener, zum Teil zeitabhängiger Komponenten aus. Zu ihrer Abbildung kommt eine *objektorientierte Fallrepräsentation* zum Einsatz, da diese eine besondere Eignung zur Abbildung komplexer, aus verschiedenen Komponenten bestehender Entitäten der Realwelt aufweist (vgl. Kapitel 4.2.2.2; 4.2.4). Die **Grundstruktur eines Falls**⁵⁷, d. h. ein Ausschnitt aus dem Domänenmodell zur objektorientierten Repräsentation individueller studentischer Erfahrungen, ist in Abbildung 5-4 in UML-Notation dargestellt.

⁵⁷ An dieser Stelle werden ausschließlich die zur Abbildung der komplexen Struktur individueller studentischer Erfahrungen verwendeten Konzepte dargestellt. Daher wird hier (noch) nicht auf einfache Attribute der Objekte der verschiedenen Klassen eingegangen.

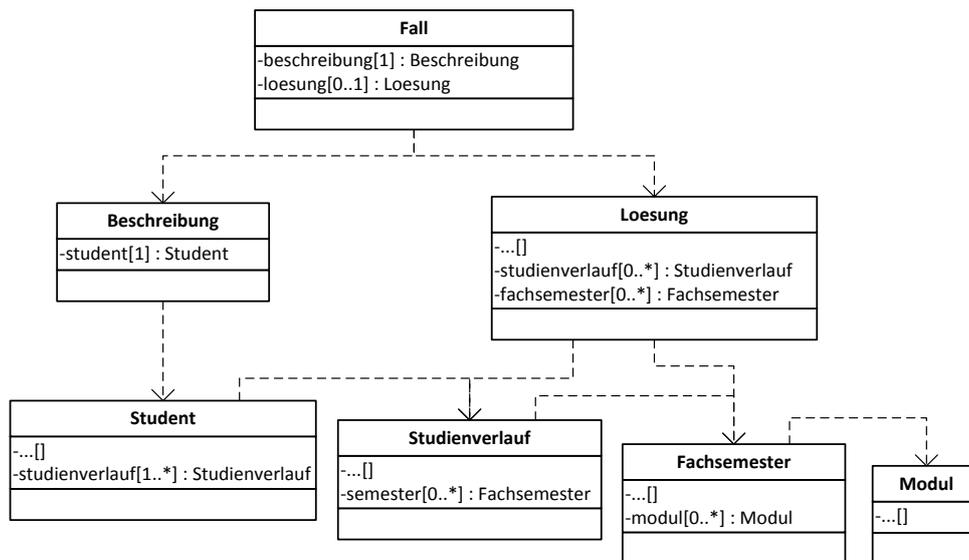


Abbildung 5-4: Grundstruktur einer objektorientierten Fallrepräsentation für individuelle studentische Erfahrungen

Quelle: Eigene Darstellung

Das Domänenmodell folgt der grundsätzlichen Unterteilung eines Falls in die zwei Komponenten Problembeschreibung und Lösung (vgl. Kapitel 4.2.2.1). Ein Fall besteht aus genau einem Objekt der Klasse `Fall`, dessen Zustand durch die zwei relationalen Attribute `beschreibung` und `loesung` beschrieben wird. Diese Attribute spezifizieren eine has-part Beziehung zu genau einem Objekt der Klasse `Beschreibung` bzw. eine has-part Beziehung zu keinem oder genau einem Objekt der Klasse `Loesung`. Beide has-part Beziehungen sind sogenannte Kompositionsbeziehungen (vgl. Balzert, 1999, S. 47), d. h. ein Objekt der Klasse `Beschreibung` (bzw. `Loesung`) kann zu einem Zeitpunkt ausschließlich Teil genau eines Falls sein, zwei Fälle können nicht durch dasselbe Objekt beschrieben werden. Damit liegt eine generische Definition eines Falls vor, die sowohl zur Beschreibung von Fällen ohne Lösung (Query Cases) als auch von Fällen mit Beschreibung und Lösung (Previous, Retrieved, Solved, Repaired Cases) verwendet werden kann. Fälle ohne Beschreibung werden durch das Domänenmodell ausgeschlossen, da sie zur Lösung neuer Probleme keinen Nutzen stiften bzw. neue Probleme ohne Beschreibung nicht durch Wiederverwendung gesammelter Erfahrungen gelöst werden können (vgl. Kapitel 4.2.2.1). Die Festlegung der domänenspezifischen Struktur eines Falls erfolgt durch die Definition der Klassen `Beschreibung` und `Loesung`. Als Problembeschreibung dient genau ein Objekt der Klasse `Student`, das durch die Deklaration eines relationalen Attributs `student` in einer has-part Beziehung mit genau einem Objekt der Klasse

Beschreibung steht (Komposition). Jedes Objekt der Klasse `Student` kann folglich Teil nur genau eines Objekts der Klasse `Beschreibung` sein – die Erfahrung eines Studierenden wird auf genau einen Fall abgebildet. Um die Repräsentation einer beliebigen Anzahl an zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t vollständigen oder unvollständigen Studienverläufen für verschiedene Studierende sowie eine Strukturierung der Erfahrungen entlang Studiengängen zu ermöglichen, erfolgt durch Definition des relationalen Attributs `studienverlauf` in der Klasse `Student` eine weitere Zerlegung. Hierdurch wird erneut eine has-part Beziehung (Komposition) spezifiziert, ein Objekt der Klasse `Studienverlauf` ist stets Teil genau eines Objekts der Klasse `Student`, während ein Objekt der Klasse `Student` mehrere Subobjekte der Klasse `Studienverlauf` enthalten kann. Eine Möglichkeit zur dynamischen Festlegung der Menge in eine Fallbeschreibung aufzunehmender Zeitabschnitte wird durch die Definition einer has-part Beziehung zwischen Objekten der Klassen `Studienverlauf` und `Fachsemester` durch Spezifikation eines relationalen Attributs `semester` mit einer Kardinalität $0..*$ geschaffen. Ein Objekt der Klasse `Studienverlauf` kann damit in beliebig viele Objekte der Klasse `Fachsemester` zerlegt werden, die jeweils einen Zeitabschnitt (Fachsemester) in einem von einem Studierenden bis zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t realisierten Studienverlauf repräsentieren. Jedes Fachsemester ist ausschließlich Teil genau eines Studiengangs (Komposition), es steht damit stets im Kontext einer individuellen Erfahrung. Zur Repräsentation der von einem Studierenden in einem Studiengang und Fachsemester belegten Module oder Klausuren dient das relationale Attribut `modul` eines Objekts der Klasse `Fachsemester`. Ein Objekt der Klasse `Fachsemester` kann damit in keins oder beliebig viele Objekte der Klasse `Modul` zerlegt werden – ein Studierender belegt in einem Semester keins oder beliebig viele Module bzw. keine oder beliebig viele Klausuren eines Studiengangs.

Die vorgeschlagene Fallrepräsentation zielt primär auf eine geschlossene, konsistente Abbildung individueller, studiengangspezifischer Erfahrungen eines Studierenden. Zugunsten der Erreichung dieses Ziels wird ein gewisses Maß an Redundanz in Kauf genommen. Dies sei am Beispiel eines Studierenden erläutert, der in einem Semester (gleichzeitig) in zwei Studiengängen immatrikuliert ist (z. B. Bachelorstudiengang Wirtschaftswissenschaft und Bachelorstudiengang Wirtschaftsinformatik). Mit dem primären Ziel der Sicherstellung einer studiengangspezifischen Repräsentation von Erfahrungen wird für jeden Studiengang

ein Objekt der Klasse `Studienverlauf` erzeugt. Die hierdurch erfolgende Zerlegung des Beschreibungsteils dient auch der Effizienzsteigerung hinsichtlich des Subprozesses `Retrieve`. Bspw. ermöglicht sie eine Einschränkung des Suchraums, aus dem ein Fall ausgewählt werden soll, auf Fälle, die Erfahrungen aus einem bestimmten Studiengang repräsentieren. Zur Repräsentation eines Zeitabschnitts (z. B. WS 2013/2014) ist im Beispielszenario die Erzeugung zweier Objekte der Klasse `Fachsemester` erforderlich. Denn ein Objekt der Klasse `Fachsemester` kann ausschließlich Teil genau eines Objekts der Klasse `Studienverlauf` sein. Die Objekte der Klasse `Fachsemester` weisen zum Teil redundante Attribute auf (z. B. `Semestername`), unterscheiden sich aber grundlegend in ihrer Verwendung: ein Objekt dient der Zerlegung der im Bachelorstudienengang `Wirtschaftswissenschaft` gemachten Erfahrung, das andere der des Bachelorstudiengangs `Wirtschaftsinformatik`. Hierdurch bieten sich Vorteile hinsichtlich der Substitution von Prognosen für die Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems durch Aggregation und Filterung. Nur durch die eindeutige Zuordnung in spezifischen Zeitabschnitten belegter Module zu einem Studiengang ist bspw. eine korrekte Aggregation prognostizierter Modulbelegungen von Studierenden der ersten vier Semester auf das Niveau einzelner Studiengänge (vgl. Kapitel 3.1.2) möglich.

Sowohl in der Fallbasis bereitgestellte `Previous Cases` als auch `Query Cases` weisen aufgrund der Domänenspezifika und der gewählten Fallrepräsentation unterschiedliche Strukturen, insbesondere eine verschiedene Anzahl an repräsentierten Zeitabschnitten, auf. Daher kann die *Interpretation einzelner Komponenten einer Erfahrung als Lösung bzw. Prognose ausschließlich im Kontext eines Query Case* stattfinden. Ein Objekt der Klasse `Studienverlauf`, das Erfahrungen aus einem Masterstudiengang repräsentiert (`Previous Case`), kann bspw. als Prognose des Studienverlaufs eines Studierenden (`Query Case`) interpretiert werden, der zum Prognosezeitpunkt t in einem Bachelorstudiengang immatrikuliert ist. Dagegen sind zur Prognose des Studienverlaufs eines Studierenden, der sich in t im gleichen Studiengang aber in einem niedrigeren Fachsemester befindet (`Query Case`) als der durch den `Previous Case` repräsentierte Studierende, nur diejenigen zum `Previous Case` gehörenden Fachsemester (Zeitabschnitte) geeignet, die höher sind als das höchste Fachsemester des `Query Case`. Zur Ermöglichung einer entsprechenden *dynamischen Interpretation einzelner Komponenten einer Erfahrung im Kontext eines Query Case* ist die Lösung eines Falls mithilfe relationaler Attribute in Subobjekte zerlegt. Durch das Attribut `studienverlauf` wird eine has-part Beziehung zwischen einem Objekt der Klasse `Lo-`

esung und beliebig vielen Objekten der Klasse `Studienverlauf` spezifiziert. Die Repräsentation von Erfahrungen aus konsekutiven Studiengängen als Teil einer Lösung wird hierdurch ermöglicht. Das Attribut `fachsemester` spezifiziert eine has-part Beziehung zwischen einem Objekt der Klasse `Loesung` und beliebig vielen Objekten der Klasse `Fachsemester`, wodurch eine flexible Abbildung einzelner Fachsemester (Zeitabschnitte) eines Studiengangs auf die Lösung ermöglicht wird. Auf das Verfahren zur Belegung dieser Attribute wird im Rahmen der Ausführungen zum Subprozess Retrieve (vgl. Kapitel 5.2.2.4) näher eingegangen. Denn (erst) in diesem Subprozess erfolgt unter Berücksichtigung der durch einen Query Case repräsentierten Erfahrung die dynamische Interpretation von Fallkomponenten.

5.2.1.2 Auswahl geeigneter Fallattribute

Die im vorigen Kapitel erläuterten relationalen Attribute dienen nur der grundlegenden Strukturierung einzelner Komponenten individueller studentischer Erfahrungen. Um die Suche nach geeigneten Previous Cases im Subprozess Retrieve des CBR-cycle, mithin eine Bestimmung der Ähnlichkeit zwischen verschiedenen Studierenden und deren Erfahrungen, zu ermöglichen, sind weitere Attribute zu identifizieren, die den Zustand der Objekte der verschiedenen Klassen, d. h. Studierende und deren Erfahrungen, beschreiben. Diese Attribute sollten Determinanten der Lösung eines Falls (Prädiktoren individueller Studienverläufe) darstellen (vgl. Kapitel 4.2.2.2), damit die auf ihrer Basis berechneten lokalen und globalen Ähnlichkeiten als Approximation der Nützlichkeit eines Falls verwendet werden können (vgl. Kapitel 4.2.2.4). Eine entsprechende Erweiterung des in Kapitel 5.2.1.1 strukturell skizzierten Domänenmodells durch eine möglichst vollständige Erfassung prädiktiver Attribute steht im Mittelpunkt dieses Kapitels. Dabei wird die Erfüllung der Forderung nach Unabhängigkeit der Fallattribute (vgl. Kapitel 4.2.2.2) zugunsten der Effizienz des Subprozesses Retrieve in den Hintergrund gerückt; zur Sicherstellung einer genauen und performanten Ähnlichkeitsbestimmung werden abgeleitete Attribute in die Problembeschreibung von Fällen aufgenommen. Dem gegenüber erfolgt ausgehend von der Prämisse eines möglichst niedrigen Aufwands zur Wissensakquisition eine grundsätzliche Einschränkung der Attributauswahl. Die Werte aller Attribute eines Falls sollen durch Extraktion und Transformation von Daten aus operativen Systemen, wie z. B. einem CMS oder – vorzugsweise – aus einem hochschulweiten DWH ermittelt werden können. Nur mit dieser Einschränkung ist eine Totalerhebung im Sinne einer Abbildung der Erfahrungen

aller Studierender und Alumni aller an einer Hochschule zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t angebotener Studiengänge samt deren Studienverläufen auf jeweils einen Fall (vgl. Kapitel 5.2.1.1) prinzipiell möglich. Die Berücksichtigung z. B. psychosozialer Prädiktoren wie der Leistungsmotivation oder des Interesses, die nur studierendenspezifisch mithilfe von Befragungen erhoben werden können und sich u. U. im Verlauf des Studiums ändern, scheidet aufgrund des mit ihr verbundenen prohibitiven Aufwands zur Wissensakquisition aus.

In CMS und hochschulweiten Data Warehouses werden Daten hinsichtlich des gesamten studentischen Lebenszyklus, insbesondere personenbezogene Daten und Daten, die im Rahmen der Abwicklung von Prüfungsverwaltungsprozessen anfallen, bereitgestellt (vgl. Kapitel 4.2.4). Aus dem in diesen Systemen verfügbaren Set an personen- und klausur- bzw. modulbezogenen Attributen sind zur Erweiterung des Domänenmodells Prädiktoren individueller Studienverläufe auszuwählen. Die Auswahl erfolgt auf Basis in der Literatur dokumentierter, empirischer Untersuchungen von Prädiktoren von Studienerfolgskennzahlen, die als Indikatoren individueller Studienverläufe herangezogen werden.⁵⁸ Daneben findet eine pragmatische Auswahl insbesondere modul- bzw. klausur- und studiengangsbezogener Attribute statt, die einerseits für die Berechnung der (lokalen) Ähnlichkeit von Objekten der Klassen `Studienverlauf`, `Semester` und `Modul` geeignet erscheinen und andererseits für die Aggregation und Filterung von Prognoseergebnissen benötigt werden.

Wenzig & Bacher (2003) untersuchen für eine Kohorte von Studierenden einer Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg den Zusammenhang zwischen personen-, studiengangs- und studienverlaufsbezogenen Variablen und Kenngrößen wie das Erreichen des Vordiploms oder des Diploms. Sie weisen einen signifikanten Zusammenhang zwischen den soziodemographischen Variablen Geschlecht, Alter, Nationalität, Ort des Erwerbs der Hochschulzugangsberechtigung (HZB), Art der HZB und Zeit zwischen Erwerb der HZB und Studienbeginn auf das Erreichen des Vordiploms nach (vgl. Wenzig & Bacher, 2003, S. 11 f.). Ferner zeigen sie, dass durch Studierende zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung bereits realisierte Studienverläufe, d. h. erbrachte Studienle-

⁵⁸ In Ermangelung empirischer Studien hinsichtlich Indikatoren, die direkt auf zukünftige individuelle Studienverläufe abstellen, werden zur Auswahl der Fallattribute Studien herangezogen, die Einflussfaktoren von Kennzahlen wie z. B. das Erreichen des Vordiploms oder die Studiendauer untersuchen, den Studienverlauf also nur mittelbar betreffen.

istungen, einen signifikanten Einfluss auf zukünftige Studienverläufe haben. Insbesondere bestehen signifikante Korrelationen zwischen den Variablen Note im Vordiplom, Fachsemester bis Abschluss Grundstudium sowie Anzahl der Prüfungen im Grundstudium und der Variable erfolgreicher Abschluss des Hauptstudiums (vgl. Wenzig & Bacher, 2003, S. 23 f.). Die Durchschnittsnote, die Studiendauer und die Anzahl abgelegter Prüfungen stehen somit in einem Zusammenhang mit dem weiteren Studienverlauf. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Hackl & Sedlacek (2002). Sie weisen für 5694 Studierende verschiedener Studiengänge der Wirtschaftsuniversität Wien einen Einfluss der Variablen Geschlecht, Alter bei Erwerb der HZB, Art der HZB, Zeit zwischen Erwerb der HZB und Studienbeginn, Anzahl bestandener Prüfungen und Durchschnittsnote auf die zu einem Prognosezeitpunkt zu erwartende Reststudiendauer nach (vgl. Hackl & Sedlacek, 2002, S. 51 ff.).

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt die Absicherung der skizzierten Forschungsergebnisse für die Beispieldomäne. Als Kenngrößen des Studienverlaufs dienen dabei die abhängigen Variablen „von einem Studierenden bis zum Zeitpunkt der Durchführung der Analyse erreichte Durchschnittsnote“ (GRADEAV) sowie „von einem Studierenden bis zum Zeitpunkt der Durchführung der Analyse erreichte Anzahl an ECTS“ (SUMECTS). Damit wurden bewusst abhängige Variablen gewählt, die Studienverläufe nur mittelbar betreffen. Denn zur Untersuchung von Prädiktoren von Variablen, die Studienverläufe direkt betreffen, wie z. B. in einem Semester belegte Module oder Klausuren, ist die Aufstellung eines umfangreichen, komplexen quantitativen Modells erforderlich (vgl. zur Prognose von Studienverläufen auf Basis quantitativer Modelle auch Kapitel 3.3.1). Der Aufwand zur Erstellung eines solchen Modells erscheint im Rahmen der Ermittlung von Fallattributen als nicht gerechtfertigt. Eine Übersicht über die untersuchten Prädiktorvariablen, ihre Skalierung sowie ihre Interpretation findet sich in Tabelle 5-1.

Tabelle 5-1: Unabhängige Variablen

<i>Unabhängige Variable</i>	<i>Interpretation</i>	<i>Skala</i>
Birthyear	Geburtsjahr eines Studierenden	intervall
Sex	Geschlecht eines Studierenden	nominal
ALevGrade	HZB Note eines Studierenden	ordinal
ALevAge	Alter eines Studierenden bei Erwerb der HZB	intervall
ALevLag	Zeit zwischen Erwerb der HZB und Studienbeginn	intervall
ALevPlace_Dist_Os	Entfernung des Orts des Erwerbs der Hochschulzugangsberechtigung (HZB) und der Hochschule	intervall
ALevPlace_Inhabs	Einwohnerzahl des Orts des Erwerbs der Hochschulzugangsberechtigung (HZB)	intervall
ALevTypeKey	Art der HZB	nominal
AvgGradeFirstSem	Durchschnittsnote eines Studierenden in seinem ersten Fachsemester	ordinal
ECTSFirstSem	Erreichte ECTS eines Studierenden in seinem ersten Fachsemester	intervall

Zur Bestimmung der Wirkung mehrerer unabhängiger Variablen auf eine abhängige Variable eignet sich grundsätzlich eine multiple Regression (vgl. Bortz & Schuster, 2010, S. 342; Kohn & Öztürk, 2013, S. 120). Allerdings ist die Voraussetzung einer Intervall- oder Verhältnisskalierung der abhängigen Variable (vgl. Bortz & Schuster, 2010, S. 342) im Fall von GRADEAV (ordinal skaliert) verletzt. Darüber hinaus ist die Voraussetzung ausschließlich intervall- oder verhältnisskalierter oder dichotomer unabhängiger Variablen (vgl. Bortz & Schuster, 2010, S. 342) z. B. durch die nominalskalierte Variable Sex oder durch nicht dichotome, ordinal skalierte Variablen wie ALevGrade verletzt. Der Einfluss nominal-, ordinal- als auch intervallskalierter unabhängiger Variablen auf eine ebenfalls entweder nominal-, ordinal- oder intervallskalierte abhängige Variable kann mit der Methode der kategorialen Regression untersucht werden (vgl. Bühl, 2012, S. 496; van der Kooij, 2007, S. 3 f.). Hier werden alle Variablen durch geeignete Transformationen quantifiziert, d. h. die Werte aller Variablen werden in metrische Werte transformiert (vgl. Bühl, 2012, S. 496; van der Kooij, 2007, S. 3 f.). Daher wurde diese Methode verwendet, um die Wirkung der in Tabelle 5-1 aufgeführten Prädiktorvariablen auf die genannten abhängigen Variablen auf Basis einer Stichprobe mit 657 Studierenden des Bachelorstudiengangs Wirtschaftswissenschaft der Universität Osnabrück zu bestimmen.

Die Ergebnisse der kategorialen Regressionsanalyse der Prädiktorvariablen auf die Variable GRADEAV sind in Tabelle 5-2 zusammengefasst.

Tabelle 5-2: Regressionsanalyse der Prädiktorvariablen auf GRADEAV

Abhängige Variable: GRADEAV			
R^2	Unabhängige Variable	β	Signifikanz
0,788	BIRTHYEAR	0,641	***
	AVGGRADEFIRSTSEM	0,748	***
	ALEVTYPEKEY	0,100	**
	AGE	0,481	*
	ALEVAGE	0,074	0,170
	ALEVLAGE	0,125	0,055
	ALEVPLACE_DIST_OS	-0,037	0,243
	ALEVPLACE_INHABS	0,001	0,981
	SEX	0,016	0,519
	ALEVGRADE	0,275	0,644
	ECTSFIRSTSEM	-0,006	0,847
	***p<0,001; **p<0,01; *p<0,05		

Die erklärte Varianz beträgt $R^2 = 0,788$. Das Modell ist also in der Lage ca. 78% Prozent der Varianz von GRADEAV zu erklären, oder anders gefasst, die von einem Studierenden bis zum Zeitpunkt der Durchführung der Analyse erreichte Durchschnittsnote kann mithilfe der unabhängigen Variablen zu 78% erklärt werden. Das Geburtsjahr sowie die Durchschnittsnote eines Studierenden im ersten Fachsemester (BIRTHYEAR und AVGGRADEFIRSTSEM) stellen hochsignifikante Einflussfaktoren auf die von einem Studierenden zum Zeitpunkt der Durchführung der Analyse erreichte Durchschnittsnote dar. Ferner sind die Art der HZB und das Alter eines Studierenden (ALEVTYPEKEY und AGE) signifikante Einflussgrößen der Durchschnittsnote. Für die übrigen in der Literatur genannten Variablen konnte kein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden. Der standardisierte Regressionskoeffizient β gibt den „marginalen Effekt der Änderung einer unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable“ (Backhaus, Erichson, Plinke, & Weiber, 2011, S. 70) an. Bspw. zeigt der standardisierte Regressionskoeffizient $\beta = 0,748$ der unabhängigen Variable AVGGRADEFIRSTSEM an, dass eine Erhöhung der Durchschnittsnote im ersten Fachsemester um eine Standardabweichung in einer Erhöhung der zum Zeitpunkt der Durchführung der Analyse erreichten Durchschnittsnote um 0,748 Standardabweichungen resultiert.

Tabelle 5-3 fasst die Ergebnisse der kategorialen Regressionsanalyse der beschriebenen Prädiktorvariablen auf die Variable SUMECTS zusammen. Hier beträgt die erklärte Varianz $R^2 = 0,650$. Die von einem Studierenden bis zum Zeitpunkt der Durchführung der Analyse erreichte Anzahl an ECTS kann also zu 65% mithilfe der Prädiktorvariablen erklärt werden. Der Wert des standardisierten Regressionskoeffizienten $\beta = 1,686$ der Vari-

able AGE deutet auf das Vorliegen von Multikollinearität hin. Es besteht damit gewisser Grad an Unzuverlässigkeit hinsichtlich der geschätzten Regressionsparameter (vgl. Backhaus u. a., 2011, S. 93 f.). Zwar sind die nachfolgenden Ausführungen zur Interpretation der Ergebnisse daher mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, allerdings ist festzustellen, dass bei Multikollinearität im Kontext von Prognosen keine negativen Konsequenzen, z. B. hinsichtlich der Prognosegenauigkeit zu erwarten sind (vgl. Backhaus u. a., 2011, S. 95).

Tabelle 5-3: Regressionsanalyse der Prädiktorvariablen auf SUMECTS

Abhängige Variable: SUMECTS			
R²	Unabhängige Variable	β	Signifikanz
0,650	BIRTHYEAR	0,669	***
	AGE	1,686	***
	ALEVAGE	-0,572	***
	ALEVLAG	-0,613	***
	ALEVTYPEKEY	0,081	***
	AVGGRADEFIRSTSEM	-0,295	***
	ECTSFIRSTSEM	0,177	*
	Sex	0,055	0,111
	ALEVGRADE	-0,084	0,798
	ALEVPLACE_DIST_OS	0,18	0,643
	ALEVPLACE_INHABS	-0,046	0,271
***p<0,001; **p<0,01; *p<0,05			

Das Geburtsjahr und die Durchschnittsnote eines Studierenden im ersten Fachsemester stellen hochsignifikante Einflussgrößen der Variablen SUMECTS dar. Ferner sind die Art der HZB und das Alter eines Studierenden, deren Einfluss auf die Variable GRADEAV nur schwach signifikant ist, im Hinblick auf SUMECTS hochsignifikant. Zusätzlich konnte ein hochsignifikanter Einfluss des Alters eines Studierenden bei Erwerb der HZB und der Zeit zwischen Erwerb der HZB und Studienbeginn auf die von einem Studierenden zum Zeitpunkt der Analyse erreichte Anzahl an ECTS nachgewiesen werden. Die von einem Studierenden im ersten Fachsemester erreichten ECTS stellen eine schwach signifikante Einflussgröße dar.

Tabelle 5-4 fasst die in der Literatur genannten Prädiktorvariablen und das Ergebnis der Regressionsanalysen überblicksartig zusammen.

Tabelle 5-4: Zusammenfassung der Ergebnisse der Literaturlauswertung und der Regressionsanalysen

Prädiktorvariable	Quelle	Signifikanter Einfluss auf GRADEAV	Signifikanter Einfluss auf SU-MECTS
Birthyear/Age	Wenzig & Bacher (2003)	X	X
Sex	Hackl & Sedlacek (2002); Wenzig & Bacher (2003)		
ALevAge	Hackl & Sedlacek (2002)		X
ALevLag	Hackl & Sedlacek (2002); Wenzig & Bacher (2003)		X
ALevPlace_Dist_Os	Wenzig & Bacher (2003)*		
ALevTypeKey	Hackl & Sedlacek (2002); Wenzig & Bacher (2003)	X	X
AvgGradeFirstSem	Hackl & Sedlacek (2002); Wenzig & Bacher (2003)	X	X
ECTSFirstSem	Hackl & Sedlacek (2002); Wenzig & Bacher (2003)**		X

* Wenzig & Bacher (2003) sprechen vom Ort des Erwerbs der HZB, im Rahmen der Regressionsanalysen wurde ersatzweise die intervallskalierte Variable Entfernung des Orts des Erwerbs der HZB zum Hochschulstandort verwendet.

** Hackl & Sedlacek (2002) und Wenzig & Bacher (2003) stellen einen Einfluss bereits erbrachter Studienleistungen fest. Die ECTS, die im ersten Semester erreicht werden, dienen im Rahmen der Regressionsanalysen als Indikator der Studienleistungen.

Die Prädiktorvariablen, für die mithilfe einer der Regressionsanalysen ein signifikanter Einfluss auf Kenngrößen individueller Studienverläufe nachgewiesen werden konnte, finden Verwendung als Fallattribute. Die im Zeitablauf konstanten personenbezogenen Variablen Geburtsjahr, Alter bei Erwerb der HZB, Zeit zwischen Erwerb der HZB und Studienbeginn, Art der HZB sowie die Variable Alter dienen als einfache Attribute der Beschreibung des Zustands von Objekten der Klasse *Student*. Auf ihrer Basis kann im Subprozess Retrieve eine Bestimmung der Ähnlichkeit zwischen zwei Studierenden auch ohne Berücksichtigung individueller Studienverläufe erfolgen. Ferner wird ein Objekt der Klasse *Student* durch das Attribut *matrikelNummer* eindeutig identifiziert.

Hinsichtlich der von einem Studierenden bis zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung *t* erbrachten Studienleistungen erfolgt keine Beschränkung auf die signifikanten Prädiktorvariablen *AVGGRADEFIRSTSEM* und *ECTSFIRSTSEM*, d. h. auf Leistungen, die ein Studierender in seinem ersten Semester erbracht hat. Vielmehr werden zur Ermöglichung einer genauen Ähnlichkeitsbestimmung und der Wiederverwendung individueller Erfahrungen zusätzlich sowohl Studienleistungen im Zeitablauf, d. h. die von einem Studieren-

den vor t erbrachten Leistungen je Semester, als auch Studienleistungen auf aggregierter Ebene, d. h. die bis t in einem Studiengang insgesamt erbrachten Leistungen, repräsentiert.

Der Repräsentation erbrachter Studienleistungen auf hohem Aggregationsniveau dienen die Attribute `durchschnittsNote`, `anzahlLECTS`, `anzahlFachsemester` und `anzahlHochschulsemester` der Klasse `Studienverlauf`. Auf ihrer Basis ist eine Bestimmung der (lokalen) Ähnlichkeit des Studienfortschritts verschiedener Studierender ohne eine rechenintensivere Ähnlichkeitsbestimmung aller durch das relationale Attribut `semester` repräsentierten, semesterbezogenen Studienleistungen möglich. Ferner erfolgt in der Definition der Klasse `Studienverlauf` die Spezifikation der Attribute `abschluss` (Schlüssel des erreichbaren Studienabschlusses, z. B. 14 - Bachelor oder 17 - Master), `studiengang` (Studiengangsbezeichnung, z. B. Wirtschaftswissenschaft) und `pruefungsOrdnungsVersion` (für den Studierenden gültige Version der Prüfungsordnung). Auf ihrer Grundlage erfolgt im Subprozess `Retrieve` des CBR-cycles eine Vorauswahl zur Lösung eines Query Case geeigneter Previous Cases im Sinne einer Selektion ausschließlich derjenigen durch Previous Cases repräsentierten individuellen Erfahrungen, die im gleichen Studiengang gemacht wurden, wie die durch den Query Case repräsentierten.

Die Repräsentation von Studienleistungen im Zeitablauf, d. h. der Leistungen in jedem einzelnen von einem Studierenden vor t absolvierten Semester, erfolgt mittels der Attribute `durchschnittsNote` und `anzahlLECTS` der Klasse `Fachsemester`. Um die Bestimmung der Ähnlichkeit der Studienleistungen von Studierenden in einzelnen Semestern, z. B. dem dritten Fachsemester, zu ermöglichen, werden in der Definition der Klasse `Fachsemester` zusätzlich die Attribute `hochschulsemester`, `fachsemester` und `bezeichnung` (z. B. WS 2012/2013) spezifiziert. Die beiden letztgenannten dienen neben der Ähnlichkeitsbestimmung auch der Adaption von Retrieved Cases im Subprozess `Reuse` des CBR-cycle sowie der Aggregation und Filterung prognostizierter Studienverläufe.

Die Repräsentation der von Wenzig & Bacher (2003) identifizierten Prädiktorvariable Anzahl bestandener Prüfungen erfolgt implizit mithilfe des relationalen Attributs `modul` der Klasse `Fachsemester`. Jedes von einem Studierenden bis t belegte Modul bzw. jede belegte Klausur wird durch ein Objekt der Klasse `Modul` repräsentiert, deren einfaches

Attribut `status` Aufschluss darüber gibt, ob ein Modul bestanden oder nicht bestanden ist. Um eine Bestimmung der Ähnlichkeit zwischen Objekten der Klasse `Modul` – und damit zwischen atomaren Studienleistungen bzw. Erfahrungen verschiedener Studierender – zu ermöglichen, erfolgt zusätzlich die Spezifikation der einfachen Attribute `modulTitel`, `typ` (z. B. Vorlesung oder Seminar), `pruefungsZeitraum`, `versuch`, `note`, `ects` und `kommentar`. Die drei erstgenannten Attribute sind nicht nur für die Ähnlichkeitsberechnung, sondern auch für die Aggregation von Prognoseergebnissen unabdingbar. Bspw. wird das Attribut `modulTitel` benötigt, um durch die Bestimmung der Anzahl des Auftretens von Modulen mit dem Titel `Accounting_B_I` in individuellen, prognostizierten Studienverläufen die Teilnehmerzahl an eben diesem Modul zu ermitteln.

Eine vollständige Übersicht des aus der Erweiterung der in Kapitel 5.2.1.1 vorgestellten Grundstruktur eines Falls um einfache Attribute resultierenden Domänenmodells bietet Abbildung 5-5.

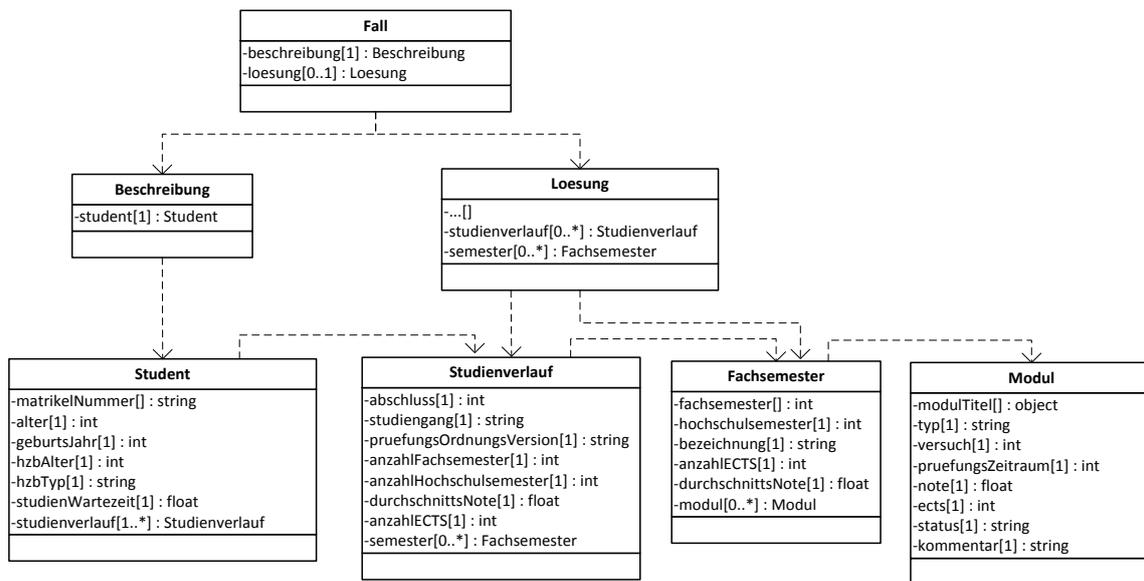


Abbildung 5-5: Objektorientierte Fallrepräsentation für individuelle Erfahrungen

Quelle: Eigene Darstellung

5.2.1.3 Bereitstellung individueller Erfahrungen in einer Fallbasis

Mithilfe der in den vorigen Kapiteln diskutierten, objektorientierten Fallrepräsentation erfolgt die Abbildung individueller Erfahrungen aller Studierender und Alumni aller an einer Hochschule zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t angebotener Studiengänge samt deren bis t realisierten Studienverläufen auf jeweils einen Fall. Die Bereitstellung der Fälle zur

Verwendung in Problemlösungs- bzw. Prognoseprozessen erfolgt in *einer einzigen Fallbasis*. Hieraus resultiert eine *Diversität der in der Fallbasis bereitgestellten Previous Cases* im Sinne einer Bereitstellung der *Erfahrungen von Studierenden aus verschiedensten Studiengängen*.

Daneben besteht eine Konsequenz des gewählten Repräsentationsformalismus und der in Kapitel 5.2.1.1 diskutierten Domänenstruktur in einer *heterogenen Fallbasis*: Je nach Zeitpunkt des Studienbeginns eines repräsentierten Studierenden bilden unterschiedliche Previous Cases Erfahrungen ab, die in unterschiedlichen und in unterschiedlich vielen Zeitabschnitten gemacht wurden. Hieraus resultiert erstens eine über verschiedene Previous Cases unterschiedliche Anzahl an Fallkomponenten (vgl. Kapitel 5.2.1.1), d. h. eine *unterschiedliche Struktur der Fälle*. Zweitens erlaubt die über verschiedene Previous Cases unterschiedliche Anzahl an repräsentierten Zeitabschnitten eine Zuordnung von Objekten der Klassen `Studienverlauf`, `Semester` und `Modul` zur Beschreibung bzw. Lösung eines Falls ausschließlich im Kontext eines Query Case (vgl. Kapitel 5.2.1.1). Im Rahmen der Wissensakquisition, d. h. des Aufbaus der Fallbasis, ist diese Zuordnung zur Beschreibung oder Lösung nicht möglich. Daher erfolgt die Repräsentation individueller studentischer Erfahrungen *ausschließlich durch die Problembeschreibung* in der Fallbasis bereitgestellter Fälle.

Die Fallbasis beinhaltet damit zusammenfassend *inhaltlich diverse Previous Cases*, deren *Problembeschreibung divergierende Strukturen* aufweist und deren *Lösung leer ist*.

5.2.2 Angepasster und erweiterter CBR-cycle zur Prognose individueller Studienverläufe

5.2.2.1 Die Anpassungen und Erweiterungen im Überblick

Um das mit der CBR-Komponente verfolgte Ziel der automatisierten Erstellung von Prognosen individueller Studienverläufe für eine beliebige Anzahl an Studierenden verschiedener Studiengänge einer Hochschule mit einem Prognosehorizont von bis zu drei Jahren erreichen zu können, sind mehrere Anpassungen und Erweiterungen des CBR-cycles erforderlich. Der Anpassungs- und Erweiterungsbedarf resultiert zum einen aus den spezifischen Anforderungen der Problemstellung, zum anderen aus dem zur Abbildung individueller studentischer Erfahrungen vorgeschlagenen Domänenmodell (vgl. Kapitel 5.2.1), das insbesondere auf eine flexible Repräsentation von Zeitabschnitten und die

Schaffung einer Möglichkeit zur Prognose mehrerer Parameter zielt. Eine Übersicht über den aus den Anpassungen und Erweiterungen resultierenden CBR-cycle zur Prognose individueller Studienverläufe bietet Abbildung 5-6.

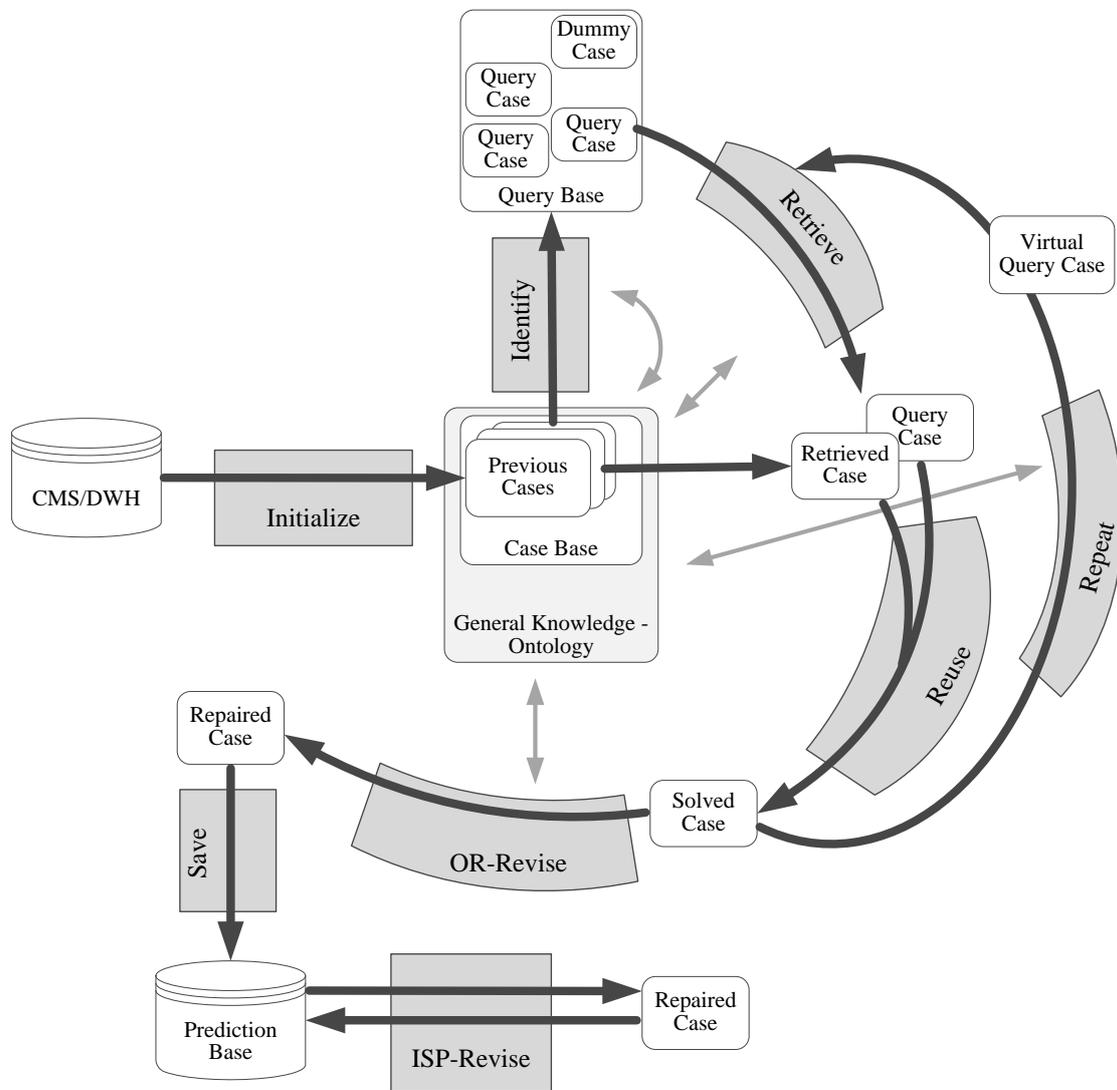


Abbildung 5-6: Erweiterter und angepasster CBR-cycle

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Aamodt & Plaza (1994)

Zu den **spezifischen Anforderungen der Problemstellung** zählen die Notwendigkeit einer automatisierten Erstellung von Prognosen für eine beliebige Zahl an Studierenden verschiedener Studiengänge, die Erreichung eines Prognosehorizonts von bis zu drei Jahren und die Berücksichtigung in Prüfungsordnungen definierter Anforderungen an ein ordnungsgemäßes Studium sowie individueller studentischer Präferenzen (vgl. hierzu auch Kapitel 4.2.4).

Um die Anforderung der **automatisierten Prognoseerstellung** für eine beliebige Zahl an Studierenden zu erfüllen, erfolgt eine Erweiterung des CBR-cycles um zwei Subprozesse: Der Subprozess *Initialize* (Initialisierung) dient der automatisierten Akquisition stichtagsbezogenen, spezifischen Wissens aus einem CMS oder einem hochschulweiten DWH. Aus diesem, in Kapitel 5.2.2.2 eingehend erläuterten Subprozess resultiert eine Fallbasis, die die Grundlage aller weiteren Subprozesse darstellt. Der in Kapitel 5.2.2.3 vollständig diskutierte Subprozess *Identify* (Identifikation) zielt auf die automatisierte Erkennung einer Menge in der Fallbasis vorliegender, zu lösender (Prognose-) Probleme und deren Transformation in Query Cases. Zusätzlich erfolgt in diesem Subprozess die Erstellung einer Menge sogenannter Dummy Cases für eine prognostizierte Anzahl an Neueinschreibungen in den zwischen dem Zeitpunkt der Prognoseerstellung und dem Prognosehorizont liegenden Zeitabschnitten. Query und Dummy Cases stellen gemeinsam die Menge zu lösender Prognoseprobleme dar. Ihre iterative Lösung kommt einer automatisierten Erstellung von Prognosen der Studienverläufe von durch sie repräsentierten Studierenden gleich.

Die **Erreichung eines möglichst großen Prognosehorizonts** steht im Mittelpunkt des Subprozesses *Repeat*, der eine zusätzliche Erweiterung des klassischen CBR-cycle darstellt. Dieser Subprozess generiert aus einem Solved Case, dessen Lösung eine Prognose eines Studienverlaufs darstellt, deren Horizont nicht bis zum Studienabschluss eines Studierenden reicht, einen sogenannten Virtual Query Case. Ferner wird eine Iteration der Subprozesse Retrieve und Reuse angestoßen, um diesen Virtual Query Case zu lösen. Aus der Iteration resultiert eine Erweiterung des Prognosehorizonts. Der Ablauf dieses Subprozesses wird in Kapitel 5.2.2.6 ausführlich diskutiert.

Zur Berücksichtigung in Prüfungsordnungen definierter Anforderungen an ein ordnungsgemäßes Studium sowie individueller studentischer Präferenzen erfolgt eine Aufspaltung des Subprozesses *Revise* des klassischen CBR-cycle in zwei getrennte Subprozesse: Der Subprozess *OntologyRule(OR)-Revise*, der in Kapitel 5.2.2.7 eingehend erläutert wird, greift auf generelles Wissen hinsichtlich der in **Prüfungsordnungen verschiedener Studiengänge definierten Anforderungen an ein ordnungsgemäßes Studium** zu. Auf Basis dieses Wissens erfolgt eine Konkretisierung abstrakter Modifikations- und Ableitungsregeln, die auf Solved Cases angewandt werden. Hierdurch erfolgt die Prüfung der als Prognose zu interpretierenden Lösung eines Solved Case auf Einhaltung einer für den Studierenden, dessen Erfahrung durch die Beschreibung des Solved Case repräsentiert

wird, relevanten Prüfungsordnung. Werden Konflikte entdeckt, erfolgt automatisiert eine Modifikation der Lösung. Ferner werden verschiedene Attribute aus Lösung und Beschreibung des Solved Case abgeleitet, um einem Studierenden Empfehlungen hinsichtlich seines weiteren Studienverlaufs geben zu können. Die **Berücksichtigung individueller studentischer Präferenzen** erfolgt im Rahmen des Subprozesses *IndividualStudentPreferences(ISP)-Revise*, der in Kapitel 5.2.2.9 diskutiert wird. Ein aus dem Subprozess *OR-Revise* resultierender *Repaired Case* wird dazu im Rahmen des Subprozesses *Save* in einer Datenbank serialisiert⁵⁹. Der Studierende, dessen Erfahrung die Beschreibung des *Repaired Case* repräsentiert, kann über eine webbasierte Benutzerschnittstelle auf den *Repaired Case* zugreifen und u. a. die Lösung seinen Präferenzen entsprechend verändern, die Änderungen auf Konformität mit den Regelungen der relevanten Prüfungsordnung prüfen und die geänderte Lösung abspeichern.

Aus dem vorgeschlagenen Domänenmodell resultiert eine heterogene Fallbasis (vgl. Kapitel 5.2.1.3). Hieraus entstehen besondere Anforderungen insbesondere an den Subprozess *Retrieve*.

Aus dem **Vorliegen inhaltlich diverser Previous Cases mit unterschiedlichen Strukturen** leitet sich erstens die Anforderung der Auswahl ausschließlich solcher *Previous Cases* zur Lösung eines *Query Case* ab, die Erfahrungen aus dem Studiengang beinhalten, den der durch den *Query Case* repräsentierte Studierende zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung studiert. Zweitens sind ausschließlich *Previous Cases* auszuwählen, die Studierende repräsentieren, die zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung in ihrem Studium weiter fortgeschritten sind (oder dies bereits abgeschlossen haben) als der durch den *Query Case* repräsentierte Studierende. Beide Anforderungen werden durch Erweiterungen des Subprozesses *Retrieve* erfüllt.

In Verbindung mit dem **Vorliegen leerer Lösungsteile** stellt die **divergierende Struktur der Problembeschreibung** der bereitgestellten *Previous Cases* zusätzlich die Anforderung einer *dynamischen Zuordnung von Fallkomponenten*, die initial der Beschreibung zugewiesen sind, zur Lösung. Denn nur Fälle, die eine Lösung beinhalten, weisen einen Nutzen

⁵⁹ Bei der Serialisierung werden Objekte unter Beibehaltung ihrer Klassen, Attribute und Relationen in einer bestimmten Reihenfolge auf ein Ausgabemedium geschrieben (vgl. Balzert, 1999, S. 405; Lahres & Raýman, 2009, S. 299). Der Begriff der Serialisierung wird in dieser Arbeit im Zusammenhang mit der Speicherung von Objekten in einer relationalen Datenbank (Ausgabemedium) verwendet, da von der Speicherung von je einem objektorientiert repräsentierten Fall pro Zeile einer Datenbanktabelle (Reihenfolge) ausgegangen wird.

zur Lösung neuer Probleme auf (vgl. Kapitel 4.2.2.1). Die dynamische Zuordnung muss stets im Kontext eines Query (oder Dummy) Case erfolgen (vgl. Kapitel 5.2.1.1). Da letztere erst nach Abschluss des Subprozesses Identify vorliegen, erfolgt auch zur Erfüllung dieser Anforderung eine Erweiterung des Subprozesses *Retrieve*. Auf die Erweiterungen dieses Subprozesses wird in Kapitel 5.2.2.4 ausführlich eingegangen.

Die Diskussion der konzipierten Anpassungen und Erweiterungen des CBR-cycle erfolgt in sachlogischer, am Ablauf des Cycle orientierter Reihenfolge in den Kapiteln 5.2.2.2 bis 5.2.2.9.

5.2.2.2 Initialize – Akquisition individueller studentischer Erfahrungen

Der Subprozess Initialize dient dem Aufbau bzw. der Aktualisierung der Fallbasis zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t . Mithilfe eines Extraktion, Transformation, Laden (ETL) Prozesses werden personen- und studienverlaufsbezogene Daten jedes Studierenden und jedes Alumnus aller Studiengänge, die an einer Hochschule in t angeboten werden, aus einem CMS oder einem hochschulweiten DWH extrahiert, in die Fallstruktur transformiert, die vom Domänenmodell vorgegeben ist, und als ein Fall je Studierenden und Alumnus in die Fallbasis geladen. Zum Zeitpunkt der ersten mithilfe der CBR-Komponente zu erstellenden Prognose erfolgt in diesem Subprozess der initiale Aufbau der Fallbasis. Bei jeder auf diesen Zeitpunkt folgenden Prognoseerstellung werden bereits in der Fallbasis vorhandene Fälle aktualisiert, es erfolgt eine Ergänzung um in der zwischen den Zeitpunkten der Prognoseerstellung liegenden Zeit neu gewonnene Erfahrungen. Bspw. wird für einen Studierenden, der sich beim initialen Aufbau der Fallbasis zum Ende des SS 2013 im zweiten Fachsemester eines Bachelorstudiengangs befindet, beim initialen Aufbau der Fallbasis ein Fall mit u. a. einem Objekt der Klasse `Studienverlauf`, das in zwei Objekte der Klasse `Fachsemester` zerlegt ist, instanziiert. Bei einer Prognoseerstellung zum Ende des WS 2013/2014 befindet sich derselbe Studierende im dritten Fachsemester desselben Bachelorstudiengangs. Der zur Repräsentation des Studierenden und dessen Erfahrung bereits bestehende Fall wird dementsprechend um ein zusätzliches Objekt der Klasse `Fachsemester` und je nach Anzahl der Module oder Klausuren, die der Studierende in seinem dritten Fachsemester absolviert hat, um Objekte der Klasse `Modul` erweitert. Ferner wird der Fallbasis für jeden zwischen den Zeitpunkten der Prognoseerstellung neu immatrikulierten Studierenden durch den oben skizzierten ETL Prozess ein neuer Fall hinzugefügt. Das Ergebnis dieses Subprozesses stellt eine Fallbasis bestehend

aus *Echtzeit-Fällen* – im Sinne von Fällen, die Studierende und den zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung aktuellen Stand ihrer individuellen Erfahrungen repräsentieren – dar.

5.2.2.3 Identify – Automatisierte Erkennung zu lösender Probleme und Aufbau einer Query Base

Im Subprozess Identify erfolgen die automatisierte Erkennung zu lösender Probleme und der Aufbau einer sogenannten Query Base, in der alle zu lösenden Probleme in Form von Query Cases abgelegt werden. Der Subprozess basiert auf generellem, durch eine Ontologie und abstrakte Regeln repräsentierten Domänenwissen hinsichtlich der in Prüfungsordnungen festgelegten Anforderungen an den Abschluss spezifischer Studiengänge (z. B. Erreichen von 180 ECTS im Bachelorstudiengang Wirtschaftswissenschaft).

Auf Grundlage des durch die Ontologie repräsentierten Wissens wird in einem *ersten Schritt* zur Überprüfung der Erfüllung der Anforderungen die abstrakte Regel

$$\begin{aligned} \text{anzahlECTS} < \text{Zielpunktzahl Studiengang } X \\ \rightarrow \text{Studiengang } X \text{ nicht abgeschlossen} \end{aligned}$$

an den Kontext jedes zu überprüfenden Previous Case angepasst (kontextualisiert). Bspw. erfolgt mithilfe des durch die Ontologie repräsentierten Wissens bzgl. eines Bachelorstudiengangs Wirtschaftswissenschaft die Anpassung zu $\text{anzahlECTS} < 180 \rightarrow \text{B.Sc. Wirtschaftswissenschaft nicht abgeschlossen}$. Auf jeden in der Fallbasis bereitgestellten Previous Case wird eine derart kontextualisierte Regel angewandt, um diejenigen Fälle zu identifizieren, die Studierende repräsentieren, die zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t einen oder mehrere Studiengänge (noch) nicht abgeschlossenen haben.

In einem *zweiten Schritt* folgt die Überprüfung der identifizierten Previous Cases daraufhin, ob sie Studierende repräsentieren, die in einem auf t folgenden Semester ihr Studium potenziell fortsetzen und für die damit eine Prognose des Studienverlaufs erforderlich ist. Unter der Annahme, dass Studierende, die ihr Studium bis t nicht beendet und im Semester $t - 2$ noch eine oder mehrere Prüfungsleistungen erbracht haben, ihr Studium fortsetzen

werden⁶⁰, erfolgt auch der zweite Schritt regelbasiert. Für jeden im ersten Schritt identifizierten Fall wird die Anwendbarkeit der Regel

Semester der letzten Prüfungsleistung = $t - 2 \rightarrow$ *setzt Studium fort* geprüft.

Feuert die Regel, wird eine tiefe Kopie⁶¹ des überprüften Previous Case erzeugt. Da die in der Fallbasis bereitgestellten Previous Cases ausschließlich eine Beschreibung – und damit die gleiche Struktur wie Query Cases – aufweisen (vgl. Kapitel 4.2.3; 5.2.1.3), kann die tiefe Kopie ohne weitere Transformationsschritte als Query Case interpretiert und in die Query Base geladen werden. Jeder in der Query Base abgelegte Query Case ist zu interpretieren als ein Prognoseproblem im Sinne eines in t immatrikulierten Studierenden, für den der weitere Studienverlauf zu prognostizieren ist. Da es sich bei den Query Cases um tiefe Kopien von Previous Cases handelt, existiert zu jedem Query Case ein äquivalenter Previous Case in der Fallbasis. Ein Fall kann damit im angepassten, erweiterten CBR-cycle sowohl zur Lösung anderer Fälle genutzt werden als auch selbst ein zu lösendes Prognoseproblem darstellen.

Für die korrekte Erkennung zu lösender Prognoseprobleme, insbesondere für die Prüfung des Vorliegens eines Studienabschlusses im ersten Schritt des Subprozesses Identify, ist die durch den vorausgehenden Subprozess Initialize realisierte Bereitstellung von Echtzeitfällen von entscheidender Bedeutung. Liegen bspw. in der Fallbasis Previous Cases vor, die nicht den zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t aktuellen Erfahrungsstand von Studierenden repräsentieren, sondern den zum Zeitpunkt $t - 1$, wird eine Query Base ggf. mit Query Cases beladen, die Studierende abbilden, die einen Studiengang in der Zeit zwischen $t - 1$ und t beendet haben. Die Query Base enthielte dann nicht ausschließlich zu lösende, sondern auch bereits gelöste Prognoseprobleme. Daraus entstünden einerseits Performance-Verluste aufgrund der Lösung real nicht bestehender Prognoseprobleme. Andererseits würden die Ergebnisse zum Teil unnötiger Problemlösungsprozesse in die Basis der zur Substitution der benötigten Prognosen durchzuführenden Aggregationen (vgl. Kapitel 5.1.1) eingehen. Durch die datengetriebene Komponente für diverse Entscheidungs-

⁶⁰ Diese Annahme erlaubt die Identifikation auch solcher Previous Cases, die Studierende repräsentieren, die z. B. aufgrund eines Auslandssemesters oder eines Praktikums im Semester $t - 1$ keine Leistungen erbracht haben, als zu lösendes Prognoseproblem.

⁶¹ Bei der Erstellung einer tiefen Kopie eines Objekts (in der Literatur auch deep copy) werden sowohl die Werte einfacher Attribute als auch alle Substrukturen des Objekts – insbesondere alle Unterobjekte, in die das zu kopierende Objekt mithilfe relationale Attribute zerlegt ist – kopiert (vgl. Lahres & Rayman, 2009, S. 449).

träger der hochschulinternen Kapazitätsplanung bereitgestellte, aggregierte Ergebnisse wären dann fehlerhaft und als Entscheidungsgrundlage unbrauchbar.

Zu ähnlichen Problemen würde die Vernachlässigung der Modulbelegungen zukünftiger Studierender führen, für die in t noch keine Einschreibung und damit kein Previous Case vorliegt, da sie ihr Studium erst zwischen t und dem Prognosehorizont $t + n$ beginnen. Um die Modulbelegungen dieser Studierenden prognostizieren zu können, erfolgt in einem *dritten Schritt* die Prognose der Neueinschreibungen je Studiengang für jedes zwischen t und $t + n$ liegende Semester.⁶² Aus Gründen der Komplexitätsreduktion basiert die Prognose auf einer einfachen Zeitreihenanalyse (vgl. Kapitel 2.2.2.3), die Anzahl zukünftiger Neueinschreibungen wird auf die Anzahl der Neueinschreibungen in den t vorausgehenden n Semestern zurückgeführt. Für die prognostizierte Anzahl an Neueinschreibung eines Bachelorstudiengangs wird eine gleiche Anzahl an sogenannten *Dummy Cases* generiert.⁶³ Jeder dieser Dummy Cases repräsentiert einen durchschnittlichen, neu eingeschriebenen Studierenden, d. h. die Attribute des zu einem Fall gehörenden Objekts der Klasse `Student` werden mit einem über alle Studierenden eines Studiengangs gebildeten Durchschnittswert belegt. Ferner steht das Objekt der Klasse `Student` jedes Dummy Case in einer Beziehung zu genau einem Objekt der Klasse `Studienverlauf`, Objekte der Klassen `Fachsemester` oder `Modul` sind in Dummy Cases nicht enthalten. Diese Dummy Cases werden der Query Base hinzugefügt. Die Query Base enthält damit nicht nur in t bestehende, *zu lösende Prognoseprobleme* im Sinne in t immatrikulierter Studierender, für die jeweils Modulbelegungen in höheren Fachsemestern zu prognostizieren sind. Vielmehr umfasst sie auch *zu erwartende Prognoseprobleme* im Sinne in auf t folgenden Semestern ein Studium beginnender Studierender, für die eine Prognose der Modulbelegungen des ersten und ggf. weiterer Fachsemester erforderlich ist.

⁶² An dieser Stelle wird davon ausgegangen, dass der Prognosehorizont bekannt ist bzw. aus dem Prognosebedarf einer Ebene eines hochschulinternen Planungssystems abgeleitet wird. In den nachfolgenden Kapiteln 5.2.2.4 und 5.2.2.6 wird auf Probleme der Bestimmung des Prognosehorizonts einzugehen sein, die eine Verankerung der Prognose von Neueinschreibungen im Subprozess Identify problematisch erscheinen lassen. An dieser Verankerung wird jedoch aus inhaltlichen Gründen festgehalten; konzeptuell umfasst der Subprozess Identify alle diejenigen Schritte, die auf die Identifikation von Prognoseproblemen zielen.

⁶³ Im Hinblick auf konsekutive Masterstudiengänge erfolgt unter der Annahme, dass 75% (an der Universität Osnabrück wird bspw. eine durchschnittliche Übergangsquote von den Bachelor- zu den Masterstudiengängen von 75% angestrebt (vgl. o.V., 2009, S. 17)) der in einem Semester neu eingeschriebenen Studierenden bereits an der gleichen Hochschule ein Bachelorstudium absolviert haben, die Erstellung von Dummy Cases für 25% der mittels der Regressionsanalyse prognostizierten Neueinschreibungen.

Im Ergebnis des Subprozesses Identify liegt eine Menge an zu lösenden Prognoseproblemen in Form von Query und Dummy Cases in einer Query Base vor. Die Lösung dieser Probleme, d. h. die Prognose individueller Studienverläufe, erfolgt durch die *iterative Ausführung der im Folgenden diskutierten Subprozesse für jeden einzelnen Query oder Dummy Case*.

5.2.2.4 Retrieve – Dynamischer Aufbau der Fallkomponenten Beschreibung und Lösung sowie Auswahl eines Retrieved Case

Wie im klassischen CBR-cycle (vgl. Kapitel 4.2.3) dient der Subprozess Retrieve auch im angepassten und erweiterten CBR-cycle der Identifikation und Auswahl eines zur Lösung eines Query Case zu verwendenden Previous Case. Dieser Subprozess gliedert sich – im Gegensatz zum Subprozess Retrieve des klassischen CBR-cycle – in die folgenden vier Schritte:

- Auswahl einer Menge an zur Lösung eines Query Case grundsätzlich geeigneter Previous Cases,
- dynamische Reorganisation der Fallkomponenten Beschreibung und Lösung der im ersten Schritt ausgewählten Previous Cases,
- Bestimmung der Ähnlichkeit zwischen reorganisierten Previous Cases und einem Query Case sowie
- Auswahl eines Retrieved Case zur Lösung des Query Case.

Schritt 1: Auswahl einer Menge an zur Lösung eines Query Case geeigneten Previous Cases

Die Fallbasis enthält Previous Cases, die Studierende und Alumni aller an einer Hochschule zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t angebotenen Studiengänge repräsentieren (vgl. Kapitel 5.2.1.3). Grundsätzlich ist daher bspw. die Lösung eines Query Case, der einen Studierenden repräsentiert, der in t im zweiten Fachsemester des Bachelorstudiengangs Wirtschaftswissenschaft immatrikuliert ist, durch Wiederverwendung von Erfahrungen eines Studierenden des Bachelorstudiengangs Chemie möglich. Um dies auszuschließen, ist eine Auswahl von Previous Cases erforderlich, die Studierende repräsentieren, die zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t im selben Studiengang immatrikuliert sind wie der durch den Query Case repräsentierte Studierende oder diesen bis t abgeschlossen haben (Alumni). Die Auswahl wird weiter eingeschränkt auf diejenigen Previous Cases, die Studierende (oder Alumni) repräsentieren, die in t in einem höheren Fachsemester studieren

als der durch den Query Case repräsentierte Studierende (oder den entsprechenden Studiengang abgeschlossen haben). Hierdurch wird die Wiederverwendung ausschließlich von Erfahrungen in ihrem Studium weiter fortgeschrittener Studierender zur Prognose von Studienverläufen sichergestellt. Ferner wird durch die Einschränkung vermieden, dass der zu einem Query Case äquivalente Previous Case (vgl. Kapitel 5.2.2.3) wiederverwendet wird.

Schritt 2: Dynamische Reorganisation der Fallkomponenten Beschreibung und Lösung von Previous Cases

Zusätzlich zu den aus der Diversität der Studiengänge, in denen durch Previous Cases repräsentierte Studierende immatrikuliert sind oder waren, hervorgehenden Problemen, resultieren aus der Heterogenität der Fallbasis weitere Anforderungen an den Subprozess Retrieve. Da Previous Cases aus einer unterschiedlichen Anzahl zum Teil Zeitabschnitte repräsentierender Objekte bestehen, sind vor der Durchführung der Ähnlichkeitsbestimmung diejenigen Objekte jedes Previous Case auszuwählen, die im Zuge der Ähnlichkeitsbestimmung mit den Objekten eines Query Case zu vergleichen sind. Diese Auswahl erfolgt im zweiten Schritt des Subprozesses Retrieve, der dynamischen Reorganisation der Fallkomponenten Beschreibung und Lösung. In diesem Schritt werden die Objekte jedes Previous Case, die für die Ähnlichkeitsberechnung relevant sind, der Beschreibung zugeordnet, während alle Objekte, die für die Prognose des Studienverlaufs eines durch den Query Case repräsentierten Studierenden relevant sind, der Lösung zugeordnet werden. Die Bestimmung der Relevanz orientiert sich dabei an einem sogenannten *dynamischen Schnittpunkt (DSP)*. Der DSP stellt das *höchste Fachsemester* im Studiengang mit dem *höchsten Abschluss* dar, das der durch den *Query Case* repräsentierte Studierende bis zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t erreicht hat. Repräsentiert ein Query Case bspw. einen Studierenden, der bis t sein erstes Fachsemester im Bachelorstudiengang Wirtschaftswissenschaft beendet hat, gilt: $DSP(abschluss: Bachelor, semester: 1)$. Wird durch den Query Case ein Studierender repräsentiert, der in sechs Semestern einen Bachelorstudiengang Wirtschaftswissenschaft abgeschlossen hat und bis t sein zweites Fachsemester im Masterstudiengang Accounting & Economics beenden konnte, gilt: $DSP(abschluss: Master, semester: 2)$. Jeder in der Fallbasis bereitgestellte Previous Case wird unter Berücksichtigung des DSP wie folgt reorganisiert: Alle Objekte der Klasse Studienverlauf, die Erfahrungen aus einem Studiengang repräsentieren, dessen Abschluss höher ist als der im DSP angegebene Abschluss, werden der Lösung zugeordnet. Dazu erfolgt die Auflösung der Kompositionsbeziehung dieser Objekte mit dem zerlegten

Objekt der Klasse `Student` und der Aufbau einer neuen Kompositionsbeziehung mit dem Objekt der Klasse `Loesung`. Erfahrungen, die Studierende bspw. in einem zu dem Studiengang, in dem der durch den Query Case repräsentierte Studierende in t immatrikuliert ist, konsekutiven Studiengang gemacht haben, stehen damit als Lösung zur Verfügung. Hierdurch wird die Prognose von Studienverläufen am „Übergang“ von einem Bachelor- zu einem konsekutiven Masterstudiengang ermöglicht. Alle Objekte der Klasse `Studienverlauf`, die Erfahrungen aus einem niedrigeren als dem im DSP angegebenen Abschluss repräsentieren, bleiben Teil der Beschreibung. Objekte der Klasse `Studienverlauf`, die Erfahrungen aus dem gleichen wie im DSP angegebenen Abschluss repräsentieren, sind teilweise der Beschreibung, teilweise der Lösung zuzuordnen, d. h. Objekte der Klasse `Fachsemester`, in die ein Objekt der Klasse `Studienverlauf` zerlegt ist, sind entweder in eine neue Beziehung mit einem Objekt der Klasse `Loesung` zu stellen oder sie verbleiben als Subobjekte eines Objekts der Klasse `Studienverlauf` Teil der Beschreibung: Repräsentiert ein Objekt der Klasse `Fachsemester` eine Erfahrung aus einem höheren als dem im DSP angegebenen Fachsemester, ist dessen Kompositionsbeziehung mit dem Objekt der Klasse `Studienverlauf` aufzulösen und durch eine neue Kompositionsbeziehung mit einem Objekt der Klasse `Loesung` zu ersetzen. Das heißt, Fachsemester, die höher sind als das im DSP angegebene, werden der Lösung des Previous Case zugeordnet und stehen damit für die Erstellung von Prognosen zur Verfügung. Fachsemester, die niedriger als das oder gleich dem im DSP angegebenen sind, verbleiben in der Beschreibung, die entsprechenden Kompositionsbeziehungen bleiben bestehen, sodass diese Fachsemester zur Bestimmung der Ähnlichkeit zweier Fälle zur Verfügung stehen. Entsprechend der Attributwerte der in der Beschreibung verbleibenden Objekte der Klasse `Fachsemester` sind die Attributwerte des Objekts der Klasse `Studienverlauf`, mit dem sie in einer Kompositionsbeziehung stehen, neu zu berechnen.

Die dynamische Reorganisation sei am Beispiel des in Abbildung 5-7 dargestellten Query Case erläutert.

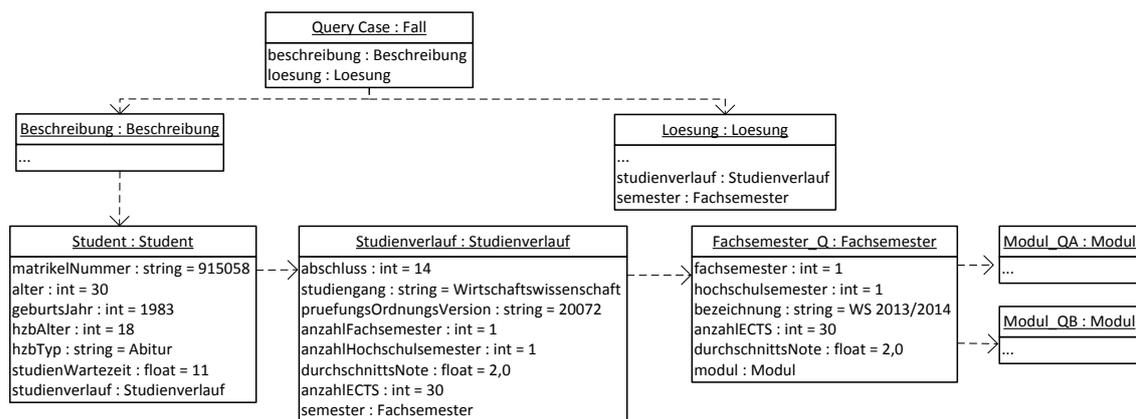


Abbildung 5-7: Objektdiagramm eines Query Case

Quelle: Eigene Darstellung

Der Query Case repräsentiert die Erfahrung eines Studierenden, der bis zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t ein Fachsemester des Bachelorstudiengangs Wirtschaftswissenschaft beenden konnte. Der DSP wird entsprechend festgelegt als $DSP(abschluss: 14 (Bachelor), Semester: 1)$.

Im ersten Schritt des Subprozesses Retrieve seien die zwei in Abbildung 5-8 dargestellten Previous Cases als grundsätzlich zur Lösung des Query Case geeignete Fälle aus der Fallbasis ausgewählt worden. Vor dem Schritt der dynamischen Reorganisation bestehen beide Fälle, PreviousCase_A und PreviousCase_B, ausschließlich aus Objekten, die der Beschreibung zugeordnet sind. PreviousCase_A repräsentiert die Erfahrung eines Studierenden des Bachelorstudiengangs Wirtschaftswissenschaft, der zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung $t = \text{Anfang des Sommersemesters 2013}$ das zweite Fachsemester beendet hat. PreviousCase_B repräsentiert die Erfahrungen eines Studierenden des gleichen Bachelorstudiengangs, der sein Studium ein Semester früher begonnen hat als der durch PreviousCase_A repräsentierte Studierende und somit bis t drei Fachsemester beenden konnte.

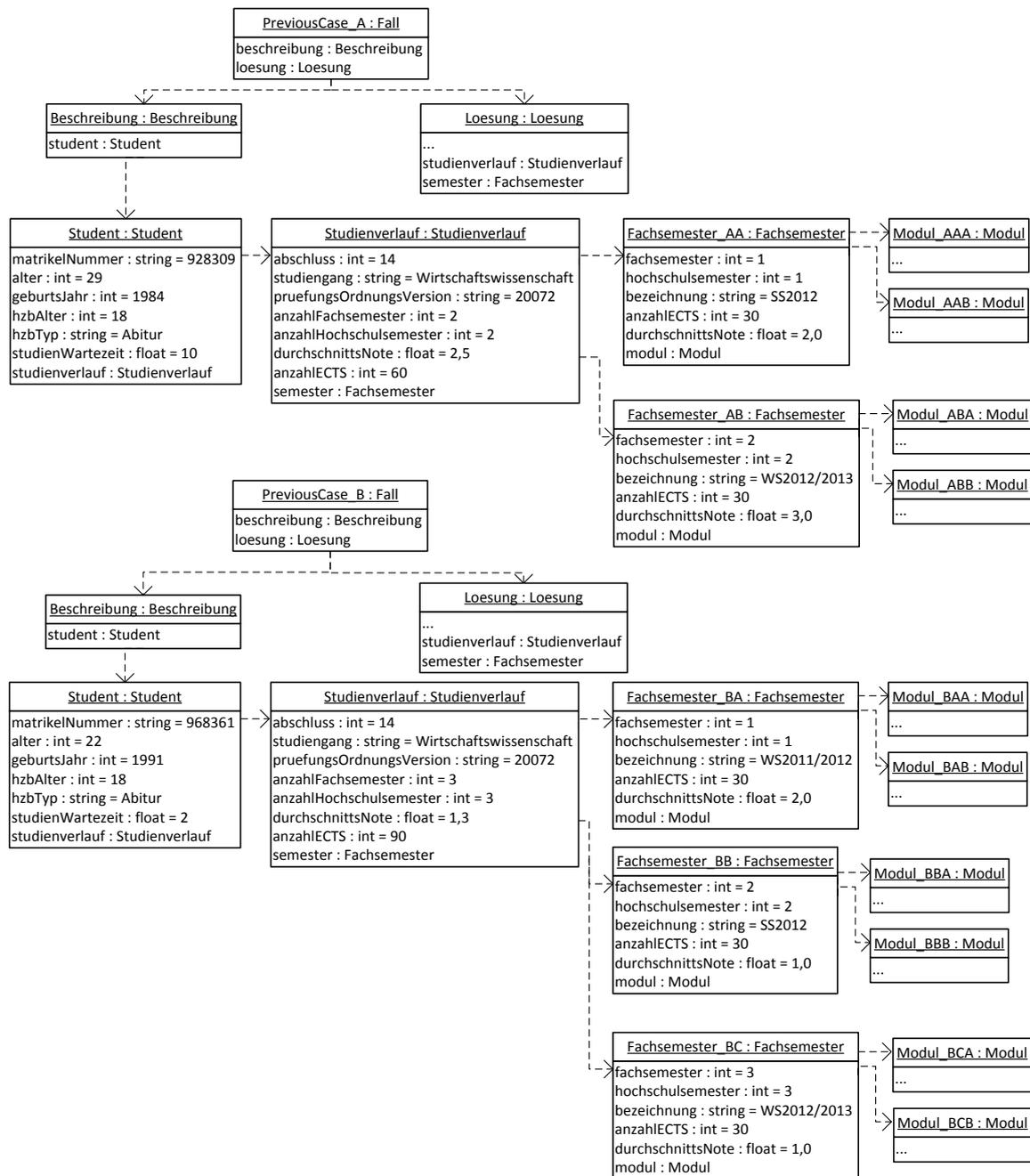


Abbildung 5-8: Objektdiagramm zweier Previous Cases vor der dynamischen Reorganisation

Quelle: Eigene Darstellung

Unter Berücksichtigung des DSP erfolgt die Reorganisation der Komponenten beider Previous Cases (vgl. Abbildung 5-9). Im PreviousCase_A ist die Kompositionsbeziehung zwischen den Objekten Studienverlauf und Fachsemester_AB aufzulösen (dargestellt durch ein rotes Kreuz in Abbildung 5-9), da der Wert des Attributs fachsemester des letztgenannten Objekts größer ist als der im DSP angegebene Wert für semester. Das Objekt Fachsemester_AB wird in eine neue Kompositionsbeziehung mit

dem Objekt `Loesung` gesetzt (dargestellt durch einen gestrichelten roten Pfeil in Abbildung 5-9), die Lösung des `PreviousCase_A` umfasst damit die Erfahrung, die der repräsentierte Studierende in seinem zweiten Fachsemester sammeln konnte. Ferner werden die Attributwerte des Objekts `Studienverlauf` neu berechnet (rot umrandet in Abbildung 5-9), der Studienverlauf repräsentiert nach der Reorganisation den Stand der Erfahrungen des Studierenden nach dem ersten Fachsemester (SS 2012). Dementsprechend gleicht z. B. die Gesamtdurchschnittsnote (Attribut `durchschnittsNote` des Objekts `Studienverlauf`) der Durchschnittsnote des Studierenden im ersten Fachsemester.

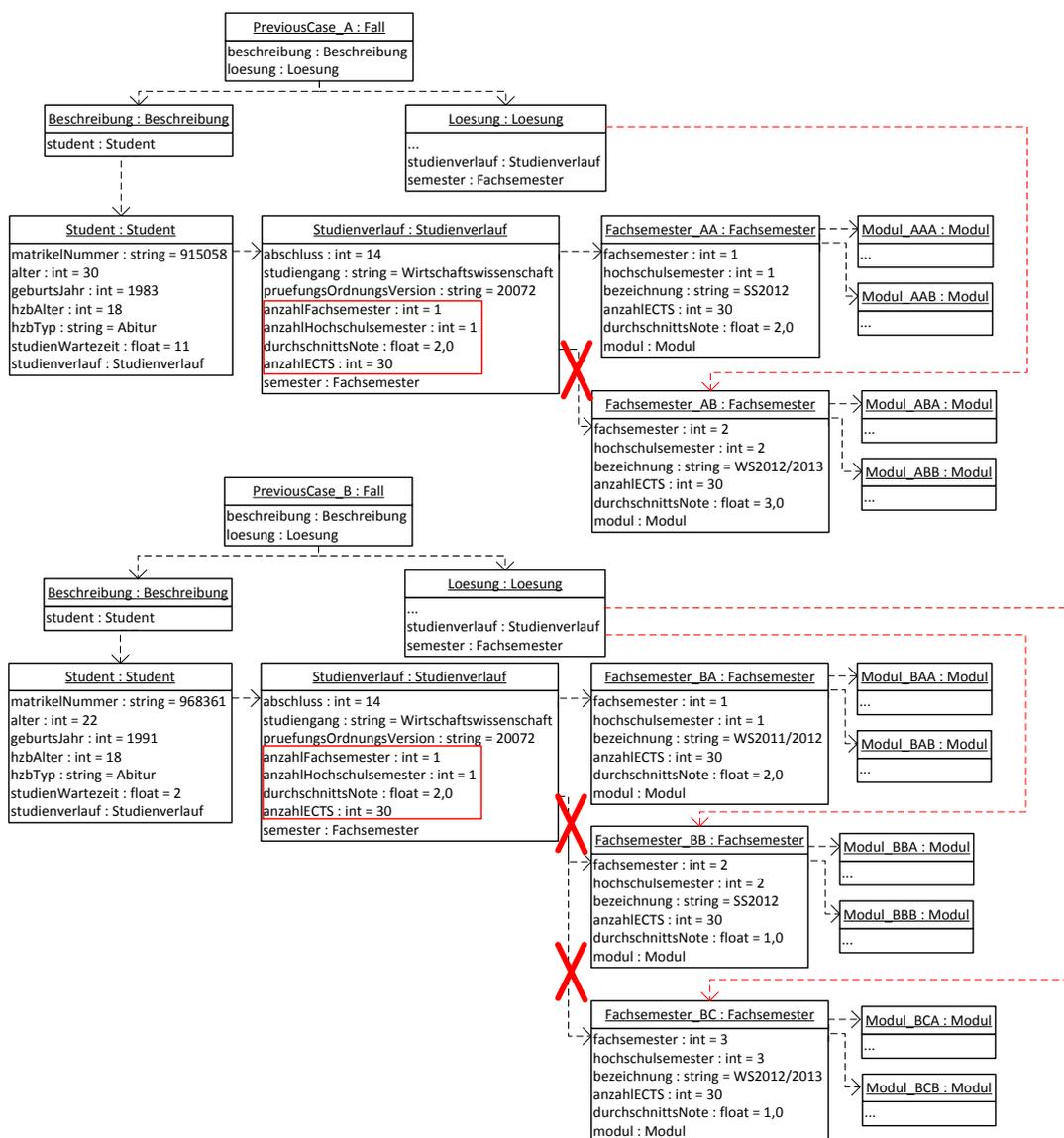


Abbildung 5-9: Objektdiagramm zweier Previous Cases nach der dynamischen Reorganisation

Quelle: Eigene Darstellung

Äquivalent zur oben beschriebenen Reorganisation des PreviousCase_A wird auch der PreviousCase_B reorganisiert. Hier werden die Kompositionsbeziehungen der Objekte Fachsemester_BB und Fachsemester_BC mit dem Objekt Studienverlauf aufgelöst, die Attributwerte des Objekts Studienverlauf entsprechend neu berechnet und die Objekte Fachsemester_BB und Fachsemester_BC in Kompositionsbeziehungen mit dem Objekt Loesung gesetzt. Die Lösung dieses Falls umfasst damit die Erfahrung, die ein Studierender in seinem zweiten und dritten Fachsemester gesammelt hat, und bezieht sich somit im Vergleich mit PreviousCase_A auf einen zusätzlichen Zeitabschnitt.

Die Divergenz der Anzahl an durch die Lösungen repräsentierten Zeitabschnitten ergibt sich aus der divergierenden Anzahl an Fachsemestern, die die Studierenden, die durch die Previous Cases repräsentiert werden, bis zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung absolvieren konnten, sowie dem DSP. Allgemein lässt sich die Anzahl der Fachsemester, die der Lösung nach der dynamischen Reorganisation zugeordnet sind, berechnen als Differenz des Attributwerts `anzahlFachsemester` eines Objekts der Klasse Studienverlauf (vor der dynamischen Reorganisation), das Erfahrungen aus dem gleichen wie im DSP angegebenen Abschluss repräsentiert, und dem im DSP angegebenen Wert für `semester`. Die Lösung eines Previous Case kann folglich im Kontext unterschiedlicher Query Cases – und damit unterschiedlicher DSPs – unterschiedlich viele Objekte der Klasse Fachsemester umfassen.

Zusammenfassend werden durch die dynamische Reorganisation die in der Fallbasis bereitgestellten Previous Cases an den Stand der Erfahrung des durch einen Query Case repräsentierten Studierenden angeglichen. Die Beschreibung eines Previous Case repräsentiert nach der dynamischen Reorganisation die Erfahrung, die ein Studierender in genau der Anzahl an Fachsemestern in einem Studiengang gemacht hat, die der durch den Query Case repräsentierte Studierende bis t absolvieren konnte. Die Lösung eines Previous Case repräsentiert hingegen den Teil der Erfahrungen eines Studierenden, der in Fachsemestern gemacht wurde, die der durch den Query Case repräsentierte Studierende in t (noch) nicht erreicht hat. Sie kann daher als *Prognose des Studienverlaufs* des durch den Query Case repräsentierten Studierenden interpretiert werden. Zu beachten ist dabei, dass einerseits die Lösung eines Previous Case im Kontext verschiedener Query Cases Erfahrungen aus unterschiedlich vielen Fachsemestern repräsentiert und andererseits die Lösungen verschie-

dener Previous Cases im Kontext eines Query Cases jeweils unterschiedliche Erfahrungen aus unterschiedlich vielen Fachsemestern repräsentieren. Wird die *Anzahl der einer Lösung zugeordneten Fachsemester als Maßgröße des Prognosehorizonts* interpretiert, resultiert aus diesen Divergenzen das Problem einer *fehlenden Möglichkeit zur ex ante Bestimmung des Prognosehorizonts*. Auf die Lösung dieses Problems wird in Kapitel 5.2.2.6 detailliert eingegangen.

Schritt 3: Bestimmung der Ähnlichkeit zwischen reorganisierten Previous Cases und einem Query Case

Im dritten Schritt des Subprozesses Retrieve erfolgt die Bestimmung der Ähnlichkeit zwischen dem Query Case und den im zweiten Schritt reorganisierten Previous Cases. Zur Ähnlichkeitsberechnung werden zwei Alternativen zur Verfügung gestellt. Da alle Previous als auch Query Cases ausschließlich Objekte gleicher Klassen aufweisen, besteht eine Alternative zur Berechnung der globalen Objektähnlichkeit in der Anwendung des *rekursiven Lokal-Global-Prinzips* nach Wess (1995) (vgl. Kapitel 4.2.2.4). Allerdings wird im vorgeschlagenen Domänenmodell (vgl. Kapitel 5.2.1.1; 5.2.1.2) eine tiefe, vier Ebenen umfassende Zerlegungshierarchie spezifiziert. Die Ähnlichkeitsberechnung mithilfe des rekursiven Lokal-Global Prinzips erweist sich aufgrund der unterproportionalen Gewichtung von Objektähnlichkeiten auf tiefen Hierarchieebenen bei Vorliegen einer derartigen Strukturierung von Fällen als problematisch (vgl. Kapitel 4.2.2.4). Bestandteile individueller Erfahrungen, die durch Objekte der Klassen Modul, Fachsemester und Studienverlauf – d. h. der Klassen auf vierter, dritter und zweiter Ebene der Zerlegungshierarchie – repräsentiert werden, sind von entscheidender Bedeutung für die Nützlichkeit einer Erfahrung zur Prognose von Studienverläufen. Denn sie dienen der Abbildung bis zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t von einem Studierenden erbrachter Studienleistungen, die einen signifikanten Einfluss auf den Studienverlauf nach t aufweisen (vgl. Kapitel 5.2.1.2). Aus diesem Grund erscheint eine unterproportionale Gewichtung dieser Attribute nachteilig. Daher wird *alternativ* das im Folgenden als *angepasstes Lokal-Global Prinzip* bezeichnete Verfahren für die Ähnlichkeitsberechnung zur Verfügung gestellt. Dieses basiert auf der Berechnung der Ähnlichkeit zwischen Objekten einzelner Klassen, unabhängig von deren Position in einer Zerlegungshierarchie. Dazu wird die von Wess (1995) vorgeschlagene Einbeziehung der (lokalen) Objektähnlichkeiten von Unterobjekten als lokale Ähnlichkeit relationaler Attribute in die Berechnung der (lokalen) Objektähnlichkeit zerlegter Objekte bzw. in die globale Objektähnlichkeit (vgl. Kapitel

4.2.2.4) aufgegeben. Vielmehr erfolgt in einem ersten Schritt die Berechnung lokaler Objektähnlichkeiten ausschließlich auf Basis der Ausprägungen einfacher Attribute der in Query und Previous Case äquivalenten Objekte. Als äquivalent werden zwei Objekte der Klasse Studienverlauf angesehen, wenn sie den gleichen Wert für die Attribute `abschluss` und `studiengang` aufweisen. Zwei Objekte der Klasse Fachsemester sind äquivalent, wenn sie zur Zerlegung äquivalenter Objekte der Klasse Studienverlauf dienen und den gleichen Wert für das Attribut `fachsemester` aufweisen, und zwei Objekte der Klasse Modul sind äquivalent, wenn sie zur Zerlegung äquivalenter Objekte der Klasse Fachsemester dienen. Objekte der Klasse Student werden grundsätzlich als äquivalent betrachtet. Die Berechnung der (lokalen) Objektähnlichkeit äquivalenter Objekte erfolgt nach der aus Kapitel 4.2.2.4 bekannten Formel:

$$sim(O_{fs}, O_{pb}) = \frac{\sum_{i=1}^n [sim_i(A_{if_s}, A_{ip_b}) * w_i]}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

Der Index i stellt hierbei auf die einfachen Attribute eines Objekts ab, relationale Attribute bleiben unberücksichtigt. Liegen auf einer Ebene mehrere Objekte vor (ein Studierender hat z. B. in einem Fachsemester zwei Module absolviert, der Fall zur Repräsentation seiner Erfahrung weist damit zwei Objekte der Klasse Modul auf), werden die für jedes äquivalente Objekt dieser Ebene ermittelten Objektähnlichkeiten durch Bildung eines einfachen Durchschnitts zu einer *aggregierten lokalen Objektähnlichkeit* zusammengefasst:

$$sim(O_{efs}, O_{epb}) = \frac{\sum_{ie=1}^n sim(O_{iefs}, O_{iepb})}{n} \quad (7)$$

Der Index ie läuft dabei über die Objekte auf einer Ebene der Zerlegungshierarchie und es gilt:

$$sim(O_{iefs}, O_{iepb}) = \frac{\sum_{j=1}^n sim_j(A_{jfs}, A_{jpb}) * w_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (8)$$

Die globale Ähnlichkeit zweier Fälle wird in einem zweiten Schritt als gewichteter Durchschnitt der im ersten Schritt errechneten (aggregierten) lokalen Objektähnlichkeiten nach folgender Formel berechnet, wobei der Index e für eine Ebene der Zerlegungshierarchie steht:

$$sim(C_{fs}, C_{pb}) = \frac{\sum_{e=1}^m sim(O_{efs}, O_{epb}) * W_e}{\sum_{e=1}^m W_e} \quad (9)$$

Das Verfahren sei anhand eines Beispiels näher erläutert: Zu bestimmen sei die Ähnlichkeit eines Query Case, der einen Studierenden aus dem ersten Fachsemester eines Bachelorstudiengangs repräsentiere, mit einem (zuvor reorganisierten) Previous Case, dessen Beschreibung einen Studierenden ebenfalls des ersten Fachsemesters des gleichen Studiengangs repräsentiere. Beide repräsentierten Studierenden haben im ersten Fachsemester zwei Module absolviert. Im ersten Schritt erfolgt die Berechnung der lokalen Objektähnlichkeiten zwischen äquivalenten Objekten auf allen Ebenen der Zerlegungshierarchie (in Abbildung 5-10 gelb hervorgehoben). Zu beachten ist dabei, dass sowohl im Query Case als auch in der Beschreibung des Previous Case zwei äquivalente Objekte der Klasse Modul (vierte Ebene) vorliegen (beide repräsentierten Studierenden haben im ersten Fachsemester zwei Module absolviert). Die aggregierte lokale Objektähnlichkeit der Objekte auf vierter Ebene ($sim(O_{4fs}, O_{4pb})$ in Abbildung 5-10) ist daher zu bestimmen als Durchschnitt der lokalen Objektähnlichkeit der beiden Objekte dieser Ebene ($sim(O_{a4fs}, O_{a4pb})$ sowie $sim(O_{b4fs}, O_{b4pb})$ in Abbildung 5-10).

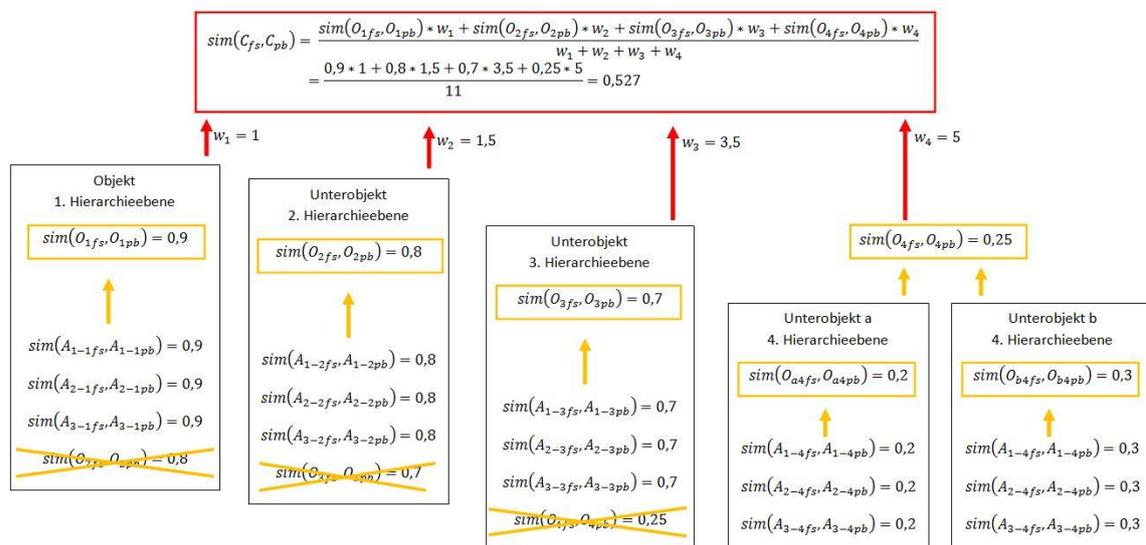


Abbildung 5-10: Beispiel der Ähnlichkeitsberechnung nach dem angepassten Lokal-Global Prinzip

Quelle: Eigene Darstellung

Im zweiten Schritt ist die globale Objektähnlichkeit als gewichteter Durchschnitt der im ersten Schritt errechneten lokalen Objektähnlichkeiten der Objekte auf erster, zweiter und dritter Ebene der Zerlegungshierarchie sowie der aggregierten lokalen Objektähnlichkeit

der Objekte der vierten Ebene zu berechnen ($sim(C_{fs}, C_{pb})$, rot hervorgehoben in Abbildung 5-10).

Schritt 4: Auswahl eines Retrieved Case zur Lösung des Query Case

Ergebnis der im dritten Schritt durchgeführten Ähnlichkeitsberechnung ist eine Präferenzrelation, in der die (reorganisierten) Previous Cases absteigend nach ihrer Ähnlichkeit geordnet sind. Dabei dient die Ähnlichkeit als Approximation der Nützlichkeit der Previous Cases zur Lösung des Query Case (vgl. Kapitel 4.2.2.4). Um eine fundierte Auswahl eines Retrieved Case auch dann zu ermöglichen, wenn mehrere Previous Cases die gleiche Ähnlichkeit zum Query Case aufweisen, erfolgt im vierten Schritt des Subprozesses Retrieve eine Verfeinerung der Präferenzrelation. Mit der CBR-Komponente wird das Ziel verfolgt, individuelle Studienverläufe mit einem für die Fundierung der Kapazitätsplanung auf allen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme ausreichenden Prognosehorizont zu prognostizieren (vgl. Kapitel 5.1.2). Die Nützlichkeit eines Previous Case zur Lösung eines Query Case (hier zur Prognose des Studienverlaufs eines Studierenden, der durch einen Query Case repräsentiert wird) ist daher nicht alleine determiniert durch die Ähnlichkeit der Beschreibungen von Previous und Query Case. Vielmehr beeinflusst auch der mit der Wiederverwendung einer durch die Lösung eines Previous Case repräsentierten Erfahrung realisierbare Prognosehorizont die Nützlichkeit. Die Ordnung der Previous Cases erfolgt daher zuerst anhand des Kriteriums der Ähnlichkeit, anschließend anhand des Kriteriums des realisierbaren Prognosehorizonts. Derjenige Previous Case, der in der resultierenden, verfeinerten Präferenzrelation den obersten Rang einnimmt, wird als Retrieved Case ausgewählt.

5.2.2.5 Reuse – Transformative Erstellung eines Prognosevorschlags

Im Rahmen des Subprozesses Reuse des angepassten und erweiterten CBR-cycle erfolgt – wie im klassischen CBR-cycle – die Wiederverwendung des Lösungsteils des durch den Subprozess Retrieve ausgewählten Retrieved Case zur Lösung der durch den Query Case repräsentierten Problemstellung. Query Cases repräsentieren im Kontext der konzipierten CBR-Komponente Prognoseprobleme, während der Lösungsteil eines (reorganisierten) Previous Case und damit auch der des Retrieved Case als Prognose eines Studienverlaufs interpretiert wird (vgl. Kapitel 5.2.2.3; 5.2.2.4). Die Wiederverwendung des Lösungsteils

eines Retrieved Case ist damit als *Erstellung einer Prognose des Studienverlaufs* eines Studierenden zu interpretieren, dessen Erfahrung durch den Query Case repräsentiert wird.

Im Subprozess Retrieve erfolgte die Auswahl eines Retrieved Case, der die Erfahrung eines Studierenden in einem höheren Semester oder eines Alumnus des Studiengangs repräsentiert, in dem der durch den Query Case repräsentierte Studierende immatrikuliert ist (vgl. Kapitel 5.2.2.4). Die als Prognose wiederverwendete Erfahrung wurde somit bereits vor dem Zeitpunkt der Prognoseerstellung t gemacht. Dementsprechend repräsentieren der Lösung zugeordnete Objekte der Klasse `Fachsemester` Zeitabschnitte, die t vorausgehen. Um diese Objekte als Prognose wiederverwenden zu können, ist eine Adaption notwendig. Dies sei am Beispiel der in Abbildung 5-11 dargestellten Fälle näher erläutert. Der Lösungsteil eines aus einem direkten Transfer der Lösung des Retrieved Case (entspricht `PreviousCase_B` aus Abbildung 5-9) auf den Query Case resultierenden Solved Case kann nicht als gültige Prognose des Studienverlaufs des durch den Query Case repräsentierten Studierenden interpretiert werden. Denn die Objekte `Fachsemester_B` und `Fachsemester_C` repräsentieren Zeitabschnitte (SS 2012 und WS 2012/2013, rot umrandet in Abbildung 5-11), die vor dem Zeitabschnitt liegen, der durch das Objekt `Fachsemester_Q` des Query Case repräsentiert wird (WS 2013/2014, rot umrandet in Abbildung 5-11).

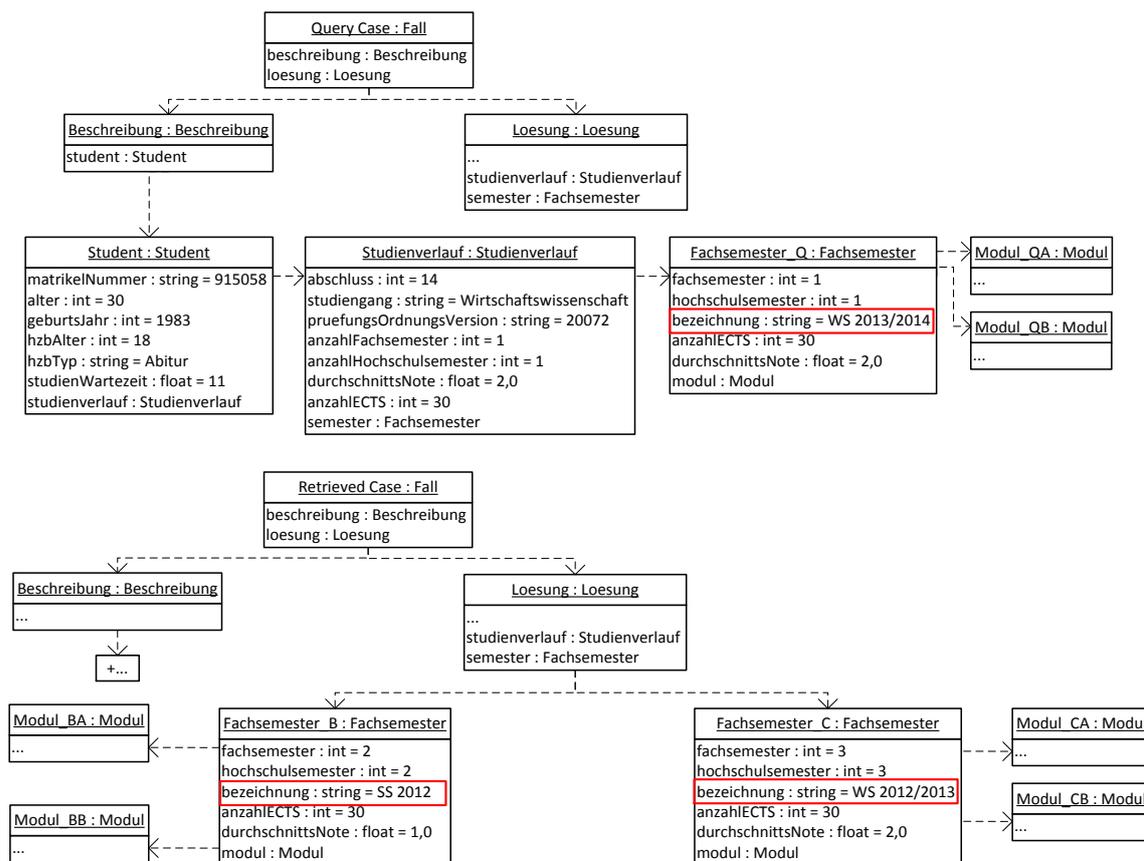


Abbildung 5-11: Objektdiagramm zur Verdeutlichung des Subprozesses Reuse

Quelle: Eigene Darstellung

Der Wiederverwendung muss daher eine Adaption der Objekte Fachsemester_B und Fachsemester_C vorausgehen. Sie erfolgt in Form einer direkten Modifikation der Lösung (transformational reuse). Mithilfe von Adaptionsregeln werden die durch Objekte der Klasse Fachsemester der Lösung des Retrieved Case repräsentierten Zeitabschnitte an den zeitlichen Kontext des Query Case angepasst. Für das in Abbildung 5-11 dargestellte Beispiel bedeutet dies eine Modifikation des Werts des Attributs bezeichnung des Objekts Fachsemester_B auf den Wert SS 2014 und des Werts des entsprechenden Attributs des Objekts Fachsemester_C auf den Wert WS 2014/2015.

Die Wiederverwendung der Lösung des Retrieved Case erfolgt schließlich durch Erstellung eines Solved Case, dessen Beschreibung aus einer Kopie der zur Beschreibung des Query Case gehörenden Objekte (grüne Umrandung in Abbildung 5-12) und dessen Lösung aus einer Kopie der adaptierten, zur Lösung des Retrieved Case gehörenden Objekte Fachsemester_B und Fachsemester_C (blaue Umrandung in Abbildung 5-12) bestehen.

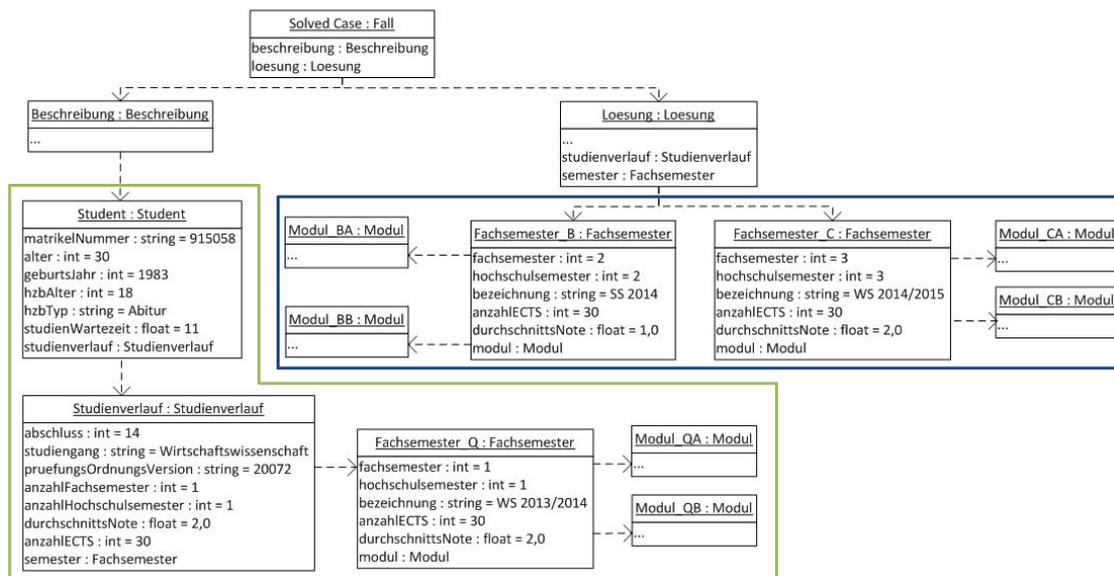


Abbildung 5-12: Objektdiagramm eines aus dem Subprozess Reuse resultierenden Solved Case

Quelle: Eigene Darstellung

Im Resultat dieser Phase liegt ein aus dem Beschreibungsteil eines zu lösenden Query Case und dem modifizierten Lösungsteil eines Retrieved Case bestehender Solved Case vor. Die Lösung des Solved Case ist als Prognose des Studienverlaufs des Studierenden zu interpretieren, der durch den Query Case repräsentiert wird. Da bis auf eine Anpassung an den zeitlichen Kontext des Query Case im Subprozess Reuse keine Adaptionen und auch keine Plausibilitätsprüfung im Kontext realer Anforderungen an Studienverläufe vorgesehen sind, stellt diese Prognose nur einen initialen Prognosevorschlag dar, der durch weitere Subprozesse des angepassten, erweiterten CBR-cycle zu verfeinern ist.

5.2.2.6 Repeat – Erhöhung des Prognosehorizonts mittels Virtual Query Cases

Die Sicherstellung eines zur Prognose der Studienverläufe aller durch Query Cases repräsentierten Studierenden möglichst bis zum jeweiligen Studienende (im Folgenden einer vollständigen Prognose des Studienverlaufs) ausreichenden Prognosehorizonts steht im Mittelpunkt des *optionalen* Subprozesses Repeat. Der durch Wiederverwendung der Lösung eines Previous Case realisierbare Prognosehorizont wird zwar als Kriterium in die Aufstellung einer Präferenzrelation zur Identifikation eines Retrieved Case einbezogen (vgl. Kapitel 5.2.2.4). Hierdurch ist jedoch ausschließlich sichergestellt, dass aus einer Menge von Previous Cases mit identischer globaler Objektähnlichkeit zu einem Query Case der Fall ausgewählt wird, durch dessen Lösung der größte Prognosehorizont erzielt werden kann. Eine Prüfung, ob der Prognosehorizont zur vollständigen Prognose eines

Studienverlaufs ausreicht, erfolgt nicht. Aufgrund der aus der dynamischen Reorganisation von Previous Cases und der Heterogenität der auf Previous Cases abgebildeten Erfahrungen resultierenden Diversität des Prognosehorizonts im Kontext verschiedener zu lösender Query Cases (vgl. Kapitel 5.2.2.4) ist ferner eine für alle Query Cases gültige ex ante Spezifikation des Prognosehorizonts nicht möglich. Daher erfolgt eine *Erhöhung des Prognosehorizonts je zu lösendem Query Case durch Iterationen der Subprozesse Retrieve und Reuse* mithilfe sogenannter *Virtual Query Cases*.

Hierzu wird der aus dem (initialen) Subprozess Reuse resultierende Solved Case in einem *ersten Schritt* daraufhin überprüft, ob seine Lösung eine vollständige Prognose darstellt. Die Prüfung basiert auf der aus Kapitel 5.2.2.3 bekannten, abstrakten Regel

anzahlECTS < Zielpunktzahl Studiengang X →

Studiengang X nicht abgeschlossen. Der Wert *anzahlECTS* ist dabei zu bestimmen als Summe des Attributwerts *anzahlECTS* des der Beschreibung eines Solved Case zugeordneten Objekts der Klasse *Studienverlauf* und der über alle der Lösung des Solved Case zugeordneten Objekte der Klasse *Fachsemester* summierten Werte des Attributs *anzahlECTS*. Die Konkretisierung der abstrakten Regel im Kontext des zu überprüfenden Solved Case erfolgt, wie in Kapitel 5.2.2.3 skizziert, auf Basis generellen, in einer Ontologie repräsentierten Wissens. Feuert die Regel nicht, liegt mit der Lösung des Solved Case eine vollständige Prognose eines Studienverlaufs vor, so dass der Subprozess Repeat abbricht. Feuert die Regel, erfolgt im *zweiten Schritt* des Subprozesses die Erzeugung eines *Virtual Query Case*. Hierzu wird zunächst eine tiefe Kopie des Solved Case erstellt. Anschließend erfolgt eine Reorganisation der Fallkomponenten des durch die tiefe Kopie erstellten Falls in Form einer *Integration der Lösung in die Beschreibung*: Die zwischen Objekten der Klassen *Fachsemester* und/oder *Studienverlauf* und einem Objekt der Klasse *Loesung* bestehenden Kompositionsbeziehungen werden aufgelöst und durch neue Kompositionsbeziehungen mit einem zur Beschreibung gehörenden Objekt der Klasse *Studienverlauf* oder *Student* ersetzt. Der hieraus resultierende *Virtual Query Case* weist eine Beschreibung auf, die zusammengesetzt ist aus der Beschreibung eines initial zu lösenden Query Case⁶⁴ (entspricht der Beschreibung des kopierten Solved Case) sowie der zur Lösung dieses Query Case wiederverwendeten Erfahrung aus einem Retrieve-

⁶⁴ Als initial zu lösender Query Case wird hier und im Folgenden ein Query Case bezeichnet, auf dessen Basis durch den initialen Durchlauf der Subprozesse Retrieve und Reuse ein im Subprozess Repeat betrachteter Solved Case erstellt wurde.

ved Case (entspricht der Lösung des kopierten Solved Case). Sie repräsentiert damit nicht die Erfahrungen, die ein realer Studierender bis zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung gemacht hat. Vielmehr stellt der Virtual Query Case ein *virtuelles Prognoseproblem* dar, das *zusammengesetzt* ist aus erstens Erfahrungen, die ein Studierender vor dem Zeitpunkt der Prognoseerstellung gemacht hat, und zweitens einer initial für diesen Studierenden erstellten, unvollständigen Prognose des Studienverlaufs.

Die Erstellung eines Virtual Query Case sei am Beispiel des aus Kapitel 5.2.2.5, Abbildung 5-12 bekannten Solved Case näher erläutert. Die Beschreibung dieses Falls repräsentiert die Erfahrungen eines Studierenden aus dem ersten Fachsemester eines Bachelorstudiengangs Wirtschaftswissenschaft. Sie stammt aus dem in Abbildung 5-7 dargestellten, initial zu lösenden Query Case. Die Lösung stellt eine Prognose des Studienverlaufs des durch den initial zu lösenden Query Case repräsentierten Studierenden für das zweite und dritte Fachsemester dar. Da die Summe der Werte der Attribute `anzahlLECTS` der Objekte `Studienverlauf`, `Fachsemester_B` und `Fachsemester_C` kleiner ist als die Zielpunktzahl des Studiengangs ($anzahlLECTS = 90$, $Zielpunktzahl\ des\ Studiengangs\ Wirtschaftswissenschaft = 180$) und damit eine unvollständige Prognose vorliegt, wird für diesen Solved Case ein Virtual Query Case erstellt. Dazu erfolgt nach Erstellung einer tiefen Kopie des Falls die Auflösung der Kompositionsbeziehungen zwischen dem Objekt `Loesung` und den Objekten `Fachsemester_B` und `Fachsemester_C` (dargestellt durch rote Kreuze in Abbildung 5-13). Die beiden letztgenannten Objekte werden in die Beschreibung integriert, indem je eine neue Kompositionsbeziehung zwischen dem Objekt `Studienverlauf` und den Objekten `Fachsemester_B` und `Fachsemester_C` aufgebaut wird (dargestellt durch gestrichelte rote Pfeile in Abbildung 5-13). Anschließend erfolgt auf Basis aller dem Objekt `Studienverlauf` zugeordneter Objekte der Klasse `Fachsemester` eine Neuberechnung der Werte der Attribute `anzahlFachsemester`, `anzahlHochschulsemester`, `durchschnittsNote` und `anzahlLECTS` des Objekts `Studienverlauf` (rot umrandet in Abbildung 5-13).

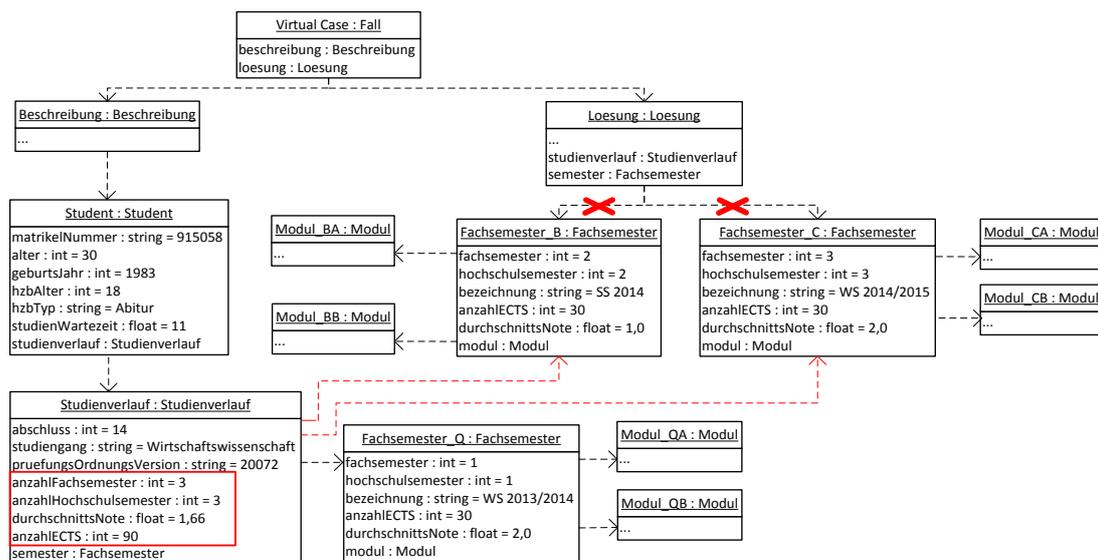


Abbildung 5-13: Objektdiagramm eines Virtual Query Case

Quelle: Eigene Darstellung

Die Lösung des durch einen Virtual Query Case repräsentierten Prognoseproblems erfolgt im *dritten Schritt* des Subprozesses Repeat. Dazu wird eine Iteration der Subprozesse Retrieve und Reuse angestoßen. In dieser Iteration liegt der dynamischen Reorganisation von Previous Cases ein DSP zugrunde, der bestimmt wird aus den Wertausprägungen der Attribute `abschluss` und `anzahlSemester` des Virtual Query Case. Im Vergleich zum DSP, der aus dem initial zu lösenden Query Case resultiert, weist der aus dem Virtual Query Case abgeleitete DSP einen höheren Wert für `semester` auf. Für den in Abbildung 5-13 dargestellten Virtual Query Case gilt z. B. $DSP(abschluss: 14 (Bachelor), semester: 3)$, während der DSP für den initial zu lösenden Query Case $DSP(abschluss: 14 (Bachelor), semester: 1)$ betragen hat (vgl. Kapitel 5.2.2.4). Die Auswahl eines zur Lösung des Virtual Query Case wiederzuverwendenden Retrieved Case findet im Subprozess Retrieve aus einer Menge unter Berücksichtigung des (höheren) DSP reorganisierter Previous Cases statt, die Erfahrungen von Studierenden (oder Alumni) repräsentieren, die in ihrem Studium weiter vorangeschritten sind als der (virtuelle) Studierende, dessen (virtuellen) Erfahrungen durch den Virtual Query Case repräsentiert werden (vgl. Kapitel 5.2.2.4). Der Lösungsteil des durch die Iteration der Subprozesse Retrieve und Reuse zur Lösung eines Virtual Query Case verwendeten Solved Case (im Folgenden als Iterated Solved Case bezeichnet) enthält daher Objekte der Klasse Fachsemester, die – verglichen mit den zur Lösung des aus dem initialen Subprozess Reuse resultierenden, initialen Solved Case gehörenden Objekten – Zeitabschnitte repräsentieren,

die weiter in der Zukunft liegen. Zur Lösung des in Abbildung 5-13 dargestellten Virtual Query Case werden bspw. ausschließlich (reorganisierte) Previous Cases herangezogen, deren Lösung Erfahrungen aus dem vierten oder einem höheren Fachsemester des Studiengangs Wirtschaftswissenschaft repräsentiert. Ein aus der Iteration der Subprozesse Retrieve und Reuse auf Basis des in Abbildung 5-13 dargestellten Virtual Query Case resultierender Iterated Solved Case ist in Abbildung 5-14 beispielhaft abgebildet.

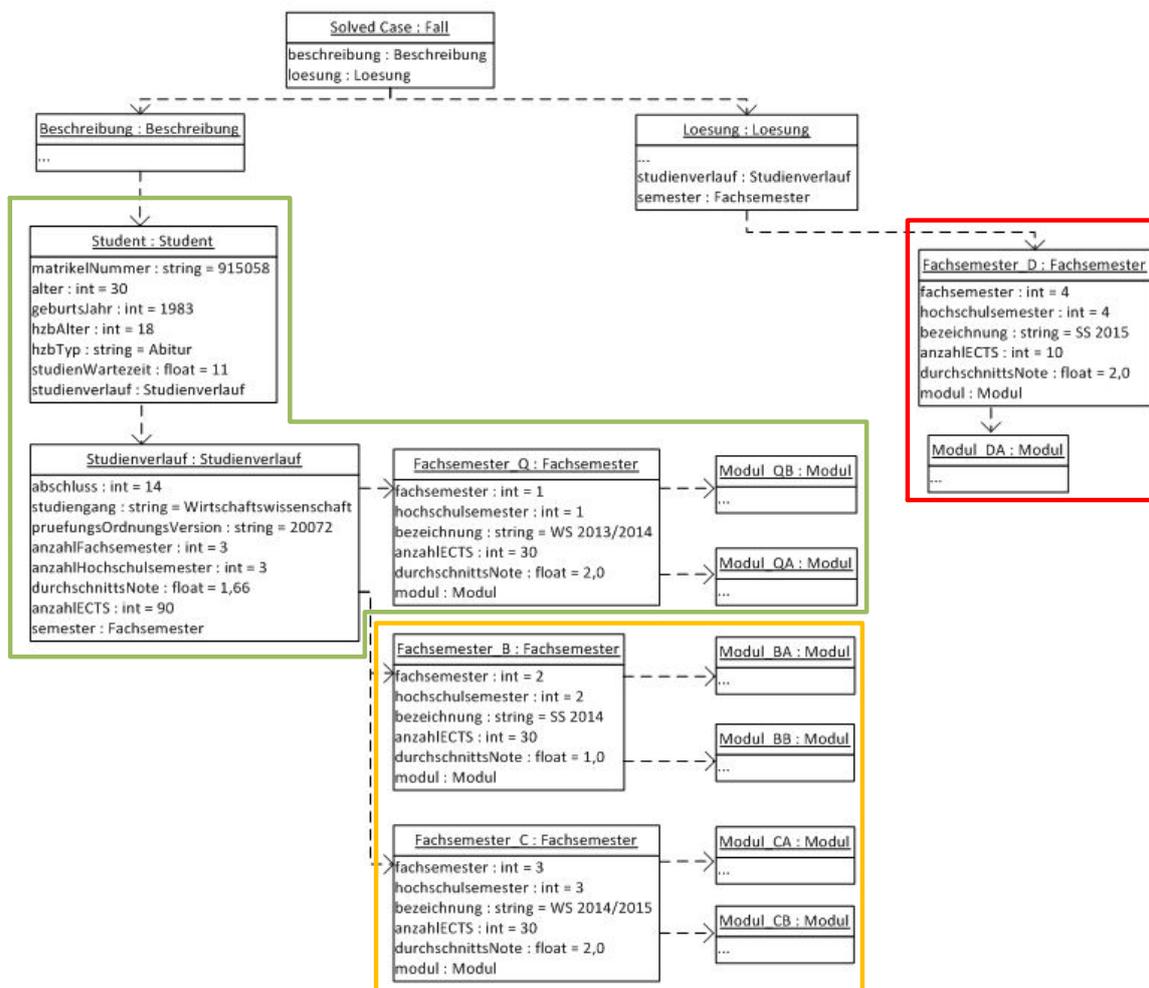


Abbildung 5-14: Objektdiagramm eines Iterated Solved Case

Quelle: Eigene Darstellung

Die verschiedenfarbigen Umrandungen dienen der Visualisierung der Herkunft der einzelnen Komponenten des Iterated Solved Case. Die grün umrandeten Komponenten stellen die Beschreibung des initial zu lösenden Query Case dar. Sie repräsentieren damit das initial zu lösende Prognoseproblem. Die orange umrandeten Komponenten Fachsemester_B und Fachsemester_C stammen aus der Lösung des initialen Solved Case und wurden im Rahmen der Reorganisation des Virtual Query Case im zweiten Schritt des

Subprozesses Repeat in die Beschreibung des Virtual Query Case integriert. Sie stellen einen ersten Teil der Prognose des Studienverlaufs des Studierenden dar, der durch den initial zu lösenden Query Case repräsentiert wird, nämlich eine Prognose des Studienverlaufs im zweiten und dritten Fachsemester (in den Zeitabschnitten SS 2014 und WS 2014/2015). Die Lösung des durch den Virtual Query Case repräsentierten, virtuellen, zusammengesetzten Prognoseproblems besteht aus der rot umrandeten Komponente. Diese Komponente ist das Ergebnis der Iteration der Subprozesse Retrieve und Reuse. Unter der Annahme, dass der Studierende, der durch den initial zu lösenden Query Case repräsentiert wird, seinen Studienverlauf in den auf den Zeitpunkt der Prognoseerstellung folgenden Zeitabschnitten entsprechend dem ersten Teil der Prognose (orange Umrandung) gestaltet, stellt diese Komponente einen zweiten Teil der Prognose des Studienverlaufs dar. Dieser Teil bezieht sich auf weiter in der Zukunft liegende Zeitabschnitte als der erste Teil. Das Ziel einer Erhöhung des Prognosehorizonts wurde damit durch die Iteration erreicht.

Die Lösung eines Iterated Solved Case stellt – wie das Beispiel zeigt – keine vollständige Prognose des Studienverlaufs eines Studierenden, dessen Erfahrungen durch den initialen Query Case repräsentiert sind, dar. Vielmehr ist ein Teil dieser Prognose der Beschreibung des Iterated Solved Case zugeordnet. Zur eindeutigen Unterscheidung zwischen realen, bis zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung gemachten Erfahrungen und Prognosen erfolgt in einem *vierten Schritt* des Subprozesses Repeat die Reorganisation der Fallkomponenten des Iterated Solved Case: Die in der Beschreibung dieses Falls bestehenden Kompositionsbeziehungen zwischen Objekten der Klassen Studienverlauf und/oder Student und den Objekten, die im zweiten Schritt des Subprozesses aus der Lösung des initialen Solved Case in die Beschreibung des Virtual Query Case integriert wurden, werden aufgelöst und die Werte der Attribute `anzahlFachsemester`, `anzahlHochschulsemester`, `durchschnittsNote` und `anzahlECTS` der betroffenen Objekte der Klassen Studienverlauf und/oder Student entsprechend neu berechnet. Die Beschreibung entspricht damit der des initial zu lösenden Query Case bzw. der Beschreibung des initialen Solved Case (grüne Umrandung in Abbildung 5-15). Ferner erfolgt eine Integration der Objekte, die im zweiten Schritt des Subprozesses aus der Lösung des initialen Solved Case in die Beschreibung des Virtual Query Case integriert wurden, in die Lösung des Iterated Solved Case durch Aufbau neuer Kompositionsbeziehungen. Die Lösung repräsentiert damit sowohl den aus der initialen Durchführung der Subprozesse Retrieve und Reuse (orange Umrandung in Abbildung 5-15) als auch den aus der Iteration resultierenden (rote Umrandung

in Abbildung 5-15) Teil der Prognose des Studienverlaufs des durch den initialen Query Case repräsentierten Studierenden.

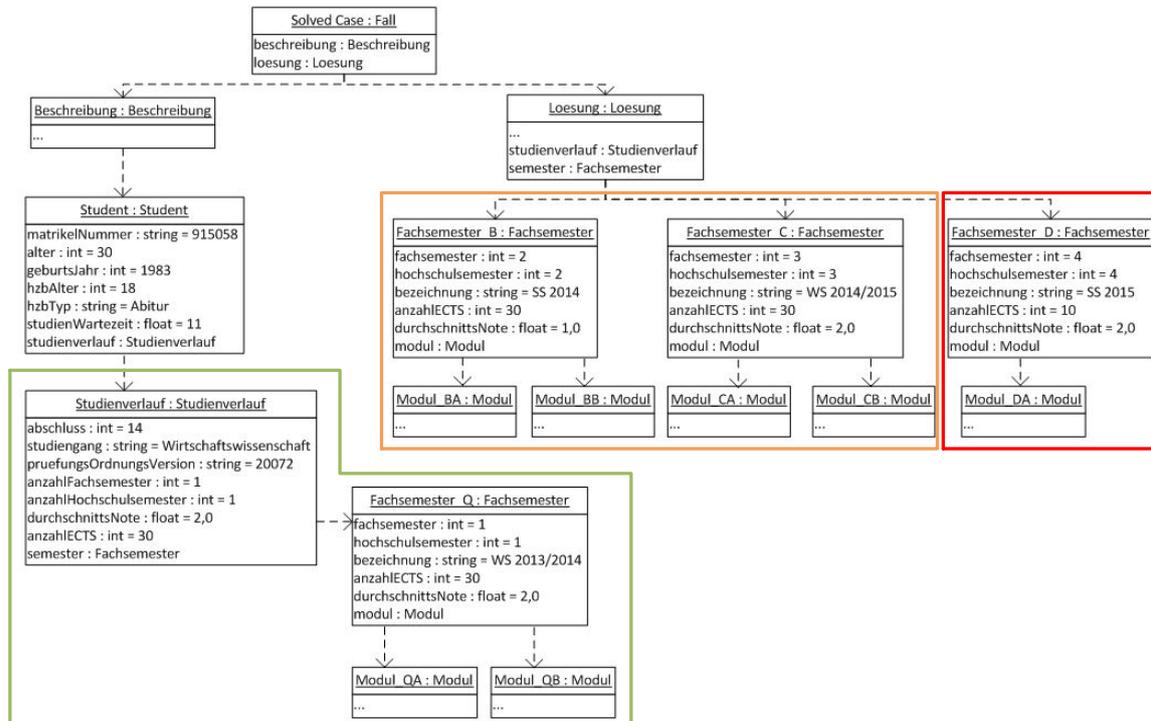


Abbildung 5-15: Objektdiagramm eines reorganisierten Iterated Solved Case

Quelle: Eigene Darstellung

Der aus dem vierten Schritt des Subprozesses resultierende reorganisierte Iterated Solved Case wird erneut auf Vollständigkeit der Prognose geprüft, d. h. der erste Schritt des Subprozesses Repeat startet erneut. Liegt mit dem Iterated Solved Case eine unvollständige Prognose vor, werden auch die Schritte zwei bis vier des Subprozesses Repeat erneut durchlaufen, um den Prognosehorizont mithilfe eines weiteren Virtual Query Case und einer weiteren Iteration der Subprozesse Retrieve und Reuse zusätzlich zu erhöhen. Der Subprozess Repeat ist beendet, wenn ein reorganisierter Iterated Solved Case vorliegt, dessen Lösung eine vollständige Prognose des Studienverlaufs eines Studierenden, der durch einen initial zu lösenden Query Case repräsentiert wird, darstellt.

5.2.2.7 OntologyRule(OR)-Revise – Validierung der Prognose durch Ontologie-Regel-Integration

Wie der aus dem klassischen CBR-cycle bekannte Subprozess Revise dient auch der Subprozess OntologyRule(OR)-Revise einer Evaluation und ggf. einer Anpassung eines (Iterated) Solved Case gegen die Realwelt. Die Durchführung dieses Subprozesses erfolgt

vollständig automatisiert und stützt sich auf generelles Wissen, das mittels einer Ontologie sowie durch Regeln repräsentiert wird.

Die Ontologie dient der deklarativen Abbildung von Wissen über die Entität Studiengang, über die Entitäten, aus denen ein Studiengang besteht, nämlich Studienphasen (z. B. erstes Studienjahr eines Bachelorstudiengangs), Module bzw. Klausuren sowie über Gruppen ähnlicher Module, über Studienschwerpunkte, Wahlbereiche (z. B. Wirtschaftsinformatik, Management, Accounting, Sprachen, etc.) und Abschlüsse. Dieses Wissen ist z. B. in un- oder semistrukturierter Form in Prüfungsordnungen und/oder Modulhandbüchern dokumentiert. Eine Teilautomatisierung der Wissensakquisition erscheint daher grundsätzlich möglich. Da Aufbau und Wartung der Ontologie aber nicht im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen, wird der Aspekt der Akquisition generellen Wissens (vgl. Kapitel 4.2.1) nicht näher betrachtet.

Die Wissensrepräsentation in der Ontologie erfolgt anhand von Klassen (z. B. Studiengang, Modul, Studienphase) und Individuen (z. B. Studiengang Wirtschaftswissenschaft oder Modul Methoden B I), die über Relationen, sogenannte Properties, miteinander in Beziehung stehen. In Abbildung 5-16 ist beispielhaft die Repräsentation von Wissen über Studiengänge und einzelne Module dargestellt. Spezifische Studiengänge stellen Individuen der Klasse Studiengang dar, die durch Relationen zu Individuen anderer Klassen in Beziehung gesetzt werden. Der in der Prüfungsordnung des Studiengangs Wirtschaftswissenschaft festgelegte Studienabschluss ist bspw. ein Bachelor of Science. Zur Repräsentation erfolgt in der Ontologie die Spezifikation eines Individuums Wirtschaftswissenschaft der Klasse Studiengang sowie eines Individuums Bachelor of Science der Klasse Abschluss. Durch die Relation `hat_abschluss` werden diese beiden Individuen in eine Beziehung zueinander gesetzt. Äquivalent stehen Individuen der Klasse Modul in Beziehungen mit Individuen der Klassen Studiengang, Studienphase und Modulgruppe. Jedes Modul ist mindestens einer Modulgruppe zugeordnet, ein Modul wird in einem oder mehreren Studiengängen verwendet und gehört im Kontext eines Studiengangs zu einer oder mehreren Studienphasen. Ferner können Module äquivalent zueinander sein (Relation `ist_aequivalent`), wenn sie bspw. unter verschiedenen Bezeichnungen angeboten werden (Individuen Mathe I und Methoden B I der Klasse Modul).

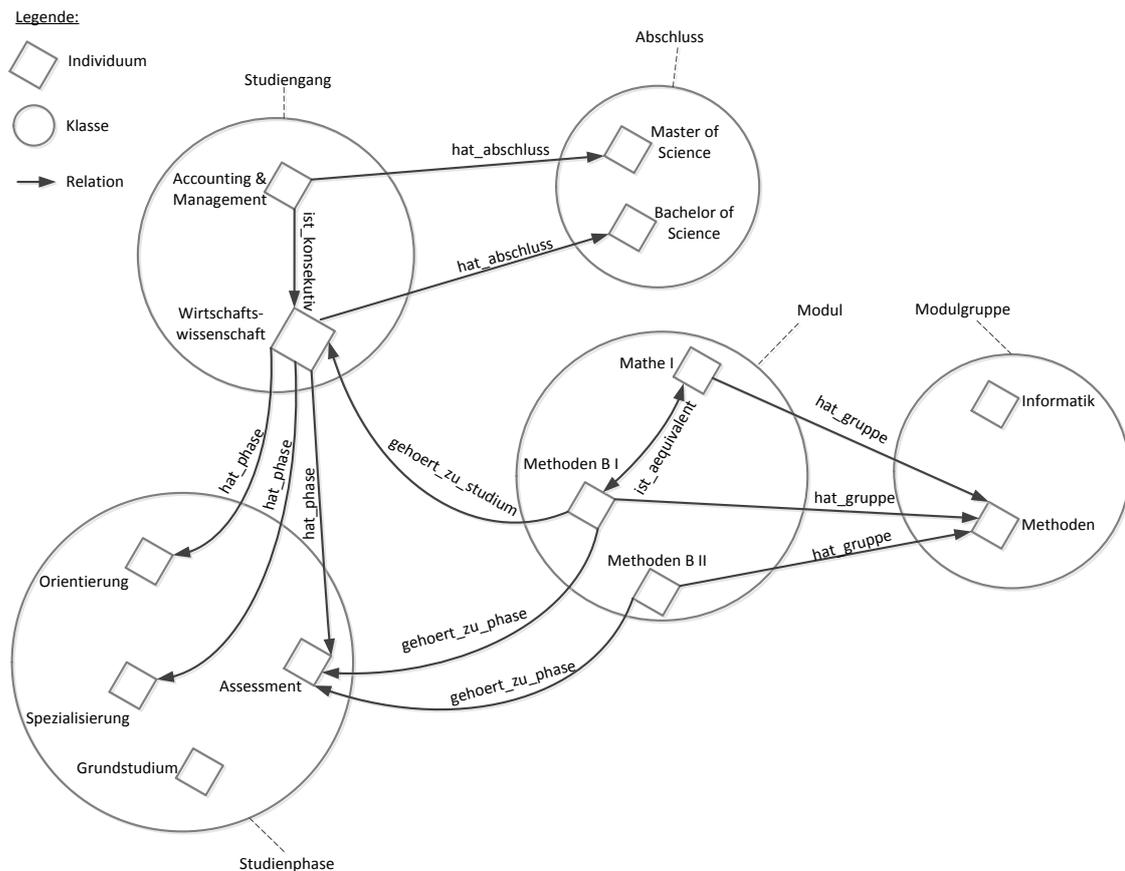


Abbildung 5-16: Beispiel der Repräsentation von Wissen über einen Studiengang in einer Ontologie

Quelle: Eigene Darstellung

Das durch die Ontologie repräsentierte Wissen wird im Subprozess OR-Revise durch eine Kopplung mit einem RBR-System zur Anpassung der Lösung eines in den vorhergehenden Subprozessen erstellten (Iterated) Solved Case an die in Prüfungsordnungen festgelegten Anforderungen genutzt.

Die Wertbelegungen der Attribute aller Objekte eines zu überprüfenden (Iterated) Solved Case stellen dabei Fakten in der Faktenbasis des RBR-Systems dar.

Regeln dienen der Abbildung prozeduralen Wissens hinsichtlich der Anforderungen an ein ordnungsgemäßes Studium, das in Prüfungsordnungen dokumentiert ist sowie hinsichtlich möglicher und notwendiger Schritte zur Anpassung der Lösung eines (Iterated) Solved Case. Die Prämisse einer Regel bildet in diesem Zusammenhang Wissen hinsichtlich einer Verletzung der Anforderungen ab, während die Konklusion Wissen über die – bei Vorliegen der in der Prämisse repräsentierten Anforderungsverletzung – durchzuführende Aktion, d. h. über die Schritte zur Adaption der Lösung des (Iterated) Solved Case repräsentiert.

Vor der Durchführung des Matchings zur Identifikation von Objekten in der Lösung eines (Iterated) Solved Case, auf die eine Regel anwendbar ist, erfolgt in einem *ersten Schritt* eine sogenannte *Regel-Kontextualisierung*. Hierbei wird die Prämisse einer Regel durch Integration von Wissen aus der Ontologie sowie aus der Lösung des zu überprüfenden (Iterated) Solved Case an dessen Kontext angepasst (kontextualisiert). Eine statische Spezifikation unterschiedlicher Regeln für einzelne Studiengänge oder für jedes Modul/jede Klausur und dessen/deren Äquivalente ist daher nicht erforderlich. Vielmehr werden *Regeln bzw. deren Prämissen dynamisch an den Kontext eines zu überprüfenden (Iterated) Solved Case angepasst*. Durch diese Kopplung von Regeln und Ontologie erschließen sich gegenüber einer rein regelbasierten Adaption Vorteile hinsichtlich der Wartung und Erweiterung. Bei Einführung eines neuen Moduls ist z. B. keine Erweiterung der Regelbasis um zusätzliche Regeln oder die Anpassung abhängiger Regeln notwendig. Vielmehr erfolgt eine Erweiterung der Ontologie durch Hinzufügen eines neuen Individuums der Klasse Modul mit Relationen zu Studiengängen, in denen das Modul verwendet werden kann, sowie zu anderen Modulen. Eine Berücksichtigung des neuen Moduls im Rahmen der Evaluation und Adaption eines (Iterated) Solved Case wird im Rahmen der Kontextualisierung bestehender Regeln durch Integration des in der Ontologie abgebildeten Wissens sichergestellt.

In einem *zweiten Schritt* erfolgt das *Matching der kontextualisierten Regel* gegen die Wertbelegungen der Attribute aller zum (Iterated) Solved Case gehörender Objekte. Damit werden Objekte oder die Kombination mehrerer Objekte daraufhin überprüft, ob sie eine Verletzung der in der relevanten Prüfungsordnung definierten Anforderung repräsentieren.

Feuert eine kontextualisierte Regel, wird ein *dritter Schritt*, die *Adaption der Lösung* des (Iterated) Solved Case, angestoßen. Das zur Lösung gehörende Objekt, für das die kontextualisierte Regel gefeuert hat, wird entsprechend der in der Konklusion der Regel spezifizierten Aktion adaptiert. Auch in diesem Schritt erfolgt die Integration von Wissen aus der Ontologie.

Abbildung 5-17 stellt den Ablauf des Subprozesses OR-Revise grafisch am Beispiel einer Regel dar, deren Prämisse eine aus der für den Bachelorstudiengang Wirtschaftswissenschaft der Universität Osnabrück gültigen Prüfungsordnung abgeleitete Anforderungsverletzung repräsentiert. In der Prüfungsordnung ist definiert, dass eine Wiederholung bereits bestandener Module zur Notenverbesserung nicht zulässig ist (vgl. o.V., 2008 § 9 Abs. 2).

Um zu überprüfen, ob eine erstellte Prognose (der Lösungsteil eines (Iterated) Solved Case) zur Verletzung dieser Bestimmung führt, ist für jedes zur Lösung des in der Faktenbasis vorliegenden (Iterated) Solved Case gehörende Objekt der Klasse Modul zu prüfen, ob das durch dieses Objekt repräsentierte Modul in einem früheren Zeitabschnitt bereits bestanden wurde. Hierzu ist in der Regelbasis des RBR-Systems eine abstrakte Regel spezifiziert:

Modul X in früherem Semester bestanden →

Modul aus Prognose löschen und mit ähnlichem Modul ersetzen.

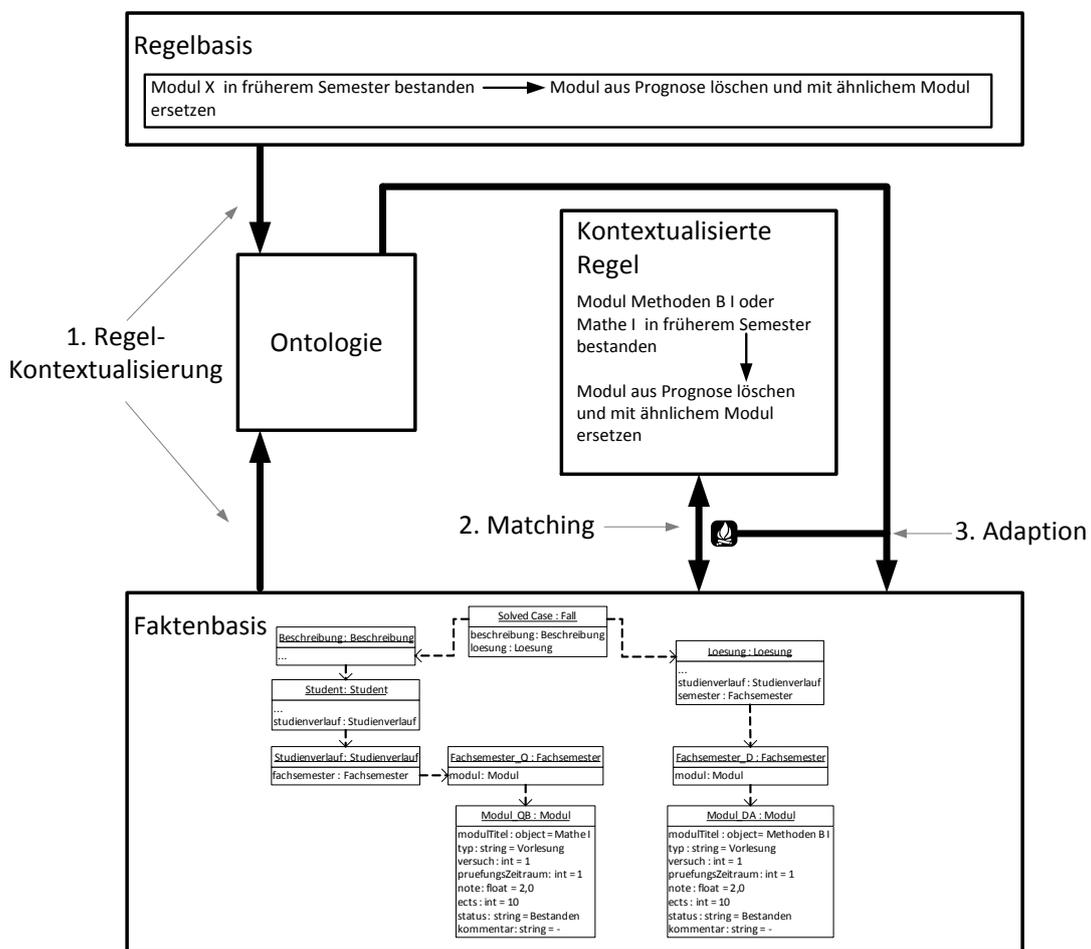


Abbildung 5-17: Falladaption auf Basis von Regeln und einer Ontologie

Quelle: Eigene Darstellung

In der Faktenbasis liegt ein Solved Case vor, dessen Lösung ein Objekt der Klasse Modul enthält, das das Modul Methoden B I repräsentiert (der Wert des Attributs modultitel des Objekts ist gleich Methoden B I). Im ersten Schritt erfolgt die Regel-Kontextualisierung. Auf Basis des Wissens aus der Lösung des (Iterated) Solved Case

kann die Prämisse der Regel kontextualisiert werden zu *Modul Methoden B I in früherem Semester bestanden*. Die Integration des in der Ontologie vorliegenden Wissens (bzgl. des Inhalts der Ontologie vgl. Abbildung 5-16) erfolgt durch einen Abruf aller in der Ontologie spezifizierten Individuen der Klasse Modul, die äquivalent zum Modul Methoden B I sind. Äquivalent ist ein Modul mit dem Titel Mathe I (Individuum Mathe I der Klasse Modul). Die Prämisse der in der Regelbasis vorliegenden Regel wird entsprechend der in der Ontologie als äquivalent spezifizierten Module weiter kontextualisiert zu

Modul Methoden B I oder Mathe I in früherem Semester bestanden. Im Anschluss an die Regel-Kontextualisierung erfolgt im zweiten Schritt das Matching der kontextualisierten Regel und der in der Faktenbasis vorliegenden Fakten. Im beschriebenen Beispiel feuert die kontextualisierte Regel, da in der Beschreibung des (Iterated) Solved Case ein Objekt der Klasse Modul vorliegt, das ein beständenes Modul Mathe I repräsentiert. Das in der Lösung vorliegende Modul wurde demnach (unter anderem Titel) in einem früheren Semester bestanden. Das zur Lösung gehörende Objekt ist gemäß der Konklusion der konkretisierten Regel im dritten Schritt zu ersetzen durch ein Objekt, das ein ähnliches Modul repräsentiert. Es erfolgt der Abruf eines Individuums der Klasse Modul aus der Ontologie, die zur gleichen Modulgruppe gehört wie das Modul, das durch das zu ersetzende Objekt repräsentiert wird. Im Beispielfall liegt mit dem Modul Methoden B II ein Modul vor, das dem Modul Methoden B I ähnlich ist (beide stehen in einer Beziehung mit demselben Individuum der Klasse Modulgruppe, vgl. Abbildung 5-16). Im Rahmen der Adaption wird daher das Modul Methoden B I durch das Modul Methoden B II ersetzt, sofern es nicht bereits im Studienverlauf existiert (z. B. durch Änderung der Wertbelegung des Attributs modulTitel in Methoden B II). Der (Iterated) Solved Case wird damit in einen *Repaired Case* transformiert.

Im Ergebnis des Subprozesses OR-Revise liegt ein *Repaired Case* vor, dessen Lösungsteil eine valide Prognose im Sinne der Einhaltung der in einer relevanten Prüfungsordnung definierten Anforderungen an ein ordnungsgemäßes Studium darstellt. Im Gegensatz zum Subprozess Revise eines klassischen CBR-cycle stellt der konzipierte Subprozess allerdings nur einen ersten Teil der Evaluation eines (Iterated) Solved Case gegen die Realwelt dar. Denn individuelle studentische Präferenzen bleiben im Rahmen dieses Subprozesses unberücksichtigt, während die Einhaltung der in einer – für den durch die Beschreibung des zu evaluierenden (Iterated) Solved Case repräsentierten Studierenden relevanten – Prü-

funktionsordnung definierten Anforderungen an ein ordnungsgemäßes Studium automatisiert geprüft wird. Zur Evaluation gegen individuelle studentische Präferenzen ist basierend auf dem aus dem vorgestellten Subprozess resultierenden Repaired Case mindestens ein weiterer Subprozess notwendig. Der CBR-cycle wird daher zusätzlich um die im Folgenden diskutierten Subprozesse ergänzt.

5.2.2.8 Save – Serialisierung der Prognose

Im Gegensatz zum klassischen CBR-cycle werden Repaired Cases nicht im Rahmen eines Subprozesses Retain in eine bestehende Fallbasis integriert und damit nicht für die Lösung neuer Probleme verfügbar gemacht. Denn die Verwendung prognostizierter – und damit nicht realer – Studienverläufe zur Lösung neuer Prognoseprobleme birgt das Potenzial der Fortsetzung und Steigerung von Prognosefehlern. Zur Weiterverarbeitung der in den vorausgehenden Subprozessen erstellten und an die in Prüfungsordnungen festgelegten Anforderungen an ein ordnungsgemäßes Studium angepassten Prognosen, insbesondere zur Auswertung der Ergebnisse mithilfe eines Berichtswesens, ist eine Bereitstellung von Repaired Cases jedoch unabdingbar. Im Unterschied zum klassischen CBR-cycle erfolgt daher im Subprozess Save die *Serialisierung* eines aus dem Subprozess OR-Revise resultierenden Repaired Case in einer *gegenüber der Fallbasis autarken Datenbank*, die als *Prediction Base* bezeichnet wird. Im Anschluss an die iterative Ausführung der vorausgehenden Subprozesse für alle in der Query Base vorhandenen Query und Dummy Cases liegen in der Prediction Base prognostizierte Studienverlaufsdaten für alle Studierenden einer Hochschule persistent vor. Ferner erfolgt eine Speicherung von prognosebezogenen Metadaten, z. B. hinsichtlich des verwendeten Ähnlichkeitsmaßes und dessen Ausgestaltung (bspw. der Gewichtung von Attributen). Die Prediction Base kann damit als Datenbasis für den Aufbau und die Aktualisierung des Datenbanksystems der datengetriebenen Komponente (vgl. Kapitel 5.1.2) genutzt werden.

5.2.2.9 IndividualStudentPreferences(ISP)-Revise – Zeitasynchrone Einbeziehung individueller studentischer Präferenzen

Die als Resultat des Subprozesses Save in der Prediction Base vorliegenden Prognosen wurden auf Basis der Annahme erstellt, dass ähnliche Studierende *ähnliche* Präferenzen und Fähigkeiten aufweisen, die in *ähnlichen* Studienverläufen resultieren. Eine Berücksichtigung individueller studentischer Präferenzen hinsichtlich der Modulbelegung im

Zeitablauf erfolgt – unter der Prämisse der Gültigkeit dieser Annahme – im Rahmen der Prognoseerstellung nur *implizit und approximativ* (ähnliche Studierende haben *ähnliche* Präferenzen).

Um eine Möglichkeit zur *expliziten* Einbeziehung individueller studentischer Präferenzen in Prognosen zu schaffen, wird der CBR-cycle um den optionalen Subprozess Individual-StudentPreferences(ISP)-Revise erweitert. Dieser stellt den zweiten Teil der im klassischen CBR-cycle in einem Subprozess Revise stattfindenden Evaluation von (Iterated) Solved Cases gegen die Realwelt dar. In diesen zweiten Teil der Evaluation sind alle diejenigen Studierenden eingebunden, für die Prognosen des Studienverlaufs in Form von serialisierten Repaired Cases in der Prediction Base vorliegen. Diesen Studierenden kommt im Rahmen des ISP-Revise die Rolle von Domänenexperten zu. Sie evaluieren jeweils einen sie selbst betreffenden, die Prognose ihres individuellen Studienverlaufs beinhaltenden Repaired Case, indem sie die Prognose prüfen und ggf. entsprechend ihrer individuellen Präferenzen anpassen. Dazu sind einzelne Studierende in die Lage zu versetzen, die Repaired Cases und damit die Prognose ihres individuellen Studienverlaufs zu einem von ihnen gewählten Zeitpunkt einzusehen, ggf. Änderungen hinsichtlich der Modulbelegungen in einzelnen Semestern vorzunehmen sowie vorgenommene Änderungen auf Korrektheit zu prüfen und zu speichern. Daraus, dass diese Funktionen ggf. zeitgleich einer Vielzahl an Studierenden zur Verfügung zu stellen sind, resultiert die Anforderung der *Mehrbenutzerfähigkeit* des Subprozesses ISP-Revise.

Aufgrund der Vielzahl an einzubeziehenden Studierenden kann dieser Teil der Evaluation ferner nicht im unmittelbaren zeitlichen Anschluss an den Subprozess Reuse oder OR-Revise erfolgen. Vielmehr sind Studierende über die Verfügbarkeit einer erstellten Prognose geeignet zu informieren und ihnen ist ein Zeitraum zur Prüfung und Anpassung prognostizierter Studienverläufe einzuräumen. Die Anforderung einer *zeitlichen Entkopplung des Subprozess ISP-Revise von den übrigen Subprozessen* des angepassten und erweiterten CBR-cycles resultiert.

Um die Anforderungen zu erfüllen, wird die Durchführung des Subprozesses ISP-Revise durch eine transaktionale Web-Anwendung⁶⁵ unterstützt, die die im Rahmen des Subprozesses Save beladene Prediction Base als Datenbasis nutzt.

Der Subprozess ISP-Revise wird *von jedem einzelnen Studierenden neu angestoßen*, wenn dieser die Web-Anwendung über einen Web-Browser aufruft. Um sicherstellen zu können, dass der Studierende ausschließlich die Prognose seines eigenen Studienverlaufs, nicht aber die fremder Studierender einsehen kann, ist eine Authentifikation und Autorisierung notwendig. Nach erfolgreicher Authentifikation erfolgt ein Abruf sowohl der historischen als auch der prognostizierten Studienverlaufsdaten des Studierenden aus der Prediction Base⁶⁶. Dem Studierenden wird einerseits die Möglichkeit zur Einsichtnahme in seinen bis zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t realisierten Studienverlauf (lesender Zugriff auf die Beschreibung des in der Datenbank serialisierten Repaired Case) gegeben. Andererseits erfolgt auch eine Visualisierung der prognostizierten Modulbelegung je auf t folgendem Fachsemester. Hieran kann der Studierende Änderungen entsprechend seiner individuellen Präferenzen vornehmen. Dazu werden Funktionalitäten zur Verschiebung einzelner Module oder Klausuren in andere Fachsemester sowie zum Hinzufügen von Modulen oder Klausuren aus einer Liste nicht belegter Module bzw. Klausuren zu einzelnen Fachsemestern zur Verfügung gestellt. Auch das Löschen einzelner oder aller prognostizierten Modul- bzw. Klausurbelegungen wird unterstützt. Zur Unterstützung des Studierenden besteht die Option der Prüfung aller vorgenommenen Änderungen auf Konformität mit den in einer relevanten Prüfungsordnung definierten Anforderungen. Dazu kann der Studierende über seinen Web-Browser eine Iteration des Subprozesses OR-Revise anstoßen, wobei aus der geänderten Prognose des Studienverlaufs und den aus der Prediction Base abgerufenen historischen Studienverlaufsdaten ein zu überprüfender Solved Case generiert wird. Abschließend kann der Studierende über seinen Web-Browser die Serialisierung der vorgenommenen Änderungen im Sinne einer Fortschreibung der angepassten Prognose in die Prediction Base anstoßen. Dabei wird der einzufügende Datensatz mit einem Flag verse-

⁶⁵ „Eine Web-Anwendung ist ein Softwaresystem, das auf Spezifikationen des World Wide Web Consortium (W3C) beruht und Web-spezifische Ressourcen wie Inhalte und Dienste bereitstellt, die über eine Benutzerschnittstelle, den Web-Browser, verwendet werden.“ (Kappel, Pröll, Reich, & Retschitzegger, 2004, S. 2) Transaktionale Web-Anwendungen bieten dem Benutzer nicht nur die Möglichkeit einer lesenden Interaktion mit der Anwendung, sondern zusätzlich der Vornahme von Datenmodifikationen (vgl. Kappel u. a., 2004, S. 8).

⁶⁶ Liegt für einen Studierenden mehr als eine Prognose vor, erfolgt der Abruf der zeitlich zuletzt in der Prediction Base serialisierten Prognosedaten.

hen, um für folgende Verarbeitungsschritte zu kennzeichnen, dass er aus der Anpassung einer Prognose durch einen Studierenden resultiert.

Da der Subprozess initiiert durch einzelne Studierende und zeitasynchron zu den übrigen Subprozessen des angepassten und erweiterten CBR-cycle ausgeführt wird, ist ein Zeitraum zu definieren, innerhalb dessen Studierende die für sie erstellten Prognosen ändern können. Für Studierende, die im Rahmen des Subprozesses Prognosen angepasst und gespeichert haben, liegen nach Ende dieses Zeitraums zwei Datensätze in der Prediction Base vor: ein Datensatz aus der im Rahmen des Subprozesses Save erfolgten Serialisierung eines Repaired Case und ein zweiter (durch ein Flag gekennzeichnet) Datensatz, der im Rahmen des Subprozesses ISP-Revise hinzugefügt wurde. Für Studierende, die die Möglichkeit zur Anpassung der für sie erstellten Prognose bis zum Ende des Zeitraums nicht wahrgenommen haben, liegt nur der aus dem Subprozess Save resultierende Datensatz vor. Im Ergebnis des (für eine Vielzahl an Studierenden jeweils isoliert durchgeführten) Subprozesses ISP-Revise liegen damit in der Prediction Base sowohl prognostizierte Studienverlaufsdaten, die unter expliziter Berücksichtigung individueller studentischer Präferenzen erstellt wurden, als auch solche vor, die ausschließlich im Hinblick auf Regelungen aus einer relevanten Prüfungsordnung an die Anforderungen der Realwelt angepasst sind. Die Diskussion der Bereitstellung dieser Prognosedaten für Entscheidungsträger der hochschulinternen Kapazitätsplanung erfolgt im Rahmen der Ausführungen zur datengetriebenen Komponente des zusammengesetzten DSS im folgenden Kapitel.

5.3 Die datengetriebene Komponente

5.3.1 Berichtswesen zur Bereitstellung von Prognoseergebnissen

Die Unterstützung von Entscheidungsträgern und damit die Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung erfolgt durch die Bereitstellung prognostischer Informationen mittels eines Standard- und eines analytischen Berichtswesens.

Das **Standardberichtswesen** fokussiert die Fundierung der Kapazitätsplanung auf operativer Ebene hochschulinterner Planungssysteme, d. h. der Kapazitätsbelegung und der Terminplanung. Von Standardberichten adressierte Entscheidungsträger gehören folglich der Gruppe des operativen Hochschulmanagements an. Als Einstieg in die Analyse der Prognoseergebnisse zur Fundierung der Belegung personeller und sachlicher Kapazitäten einzelner Fachbereiche, die bspw. von Dekanen oder Studiengangkoordinatoren durchgeführt

wird (vgl. Kapitel 2.3.3; 3.2.1), dient ein Standardbericht. Er bietet eine Übersicht der prognostizierten Kapazitätsnachfrage, mithin der zu erwartenden Belastung der Kapazitäten einzelner Organisationseinheiten eines Fachbereichs. Dazu werden die aggregierten Kennzahlen „Teilnehmerzahl“ und „Durchschnittliche Teilnehmerzahl“, die sich aus den – mittels der CBR-Komponente erstellten – Prognosen individueller Studienverläufe zusammensetzen, je Institut eines Fachbereichs für mindestens drei auf den Zeitpunkt der Planerstellung⁶⁷ folgende Fachsemester dargestellt. Mithilfe dieses Berichts ist bspw. eine asymmetrische Belastung der Kapazitäten einzelner Institute unmittelbar ersichtlich. Darüber hinaus kann auf Basis der aggregierten Kennzahl „Durchschnittliche Teilnehmerzahl“ eine grobe Zuordnung bereitgestellter Räume zu einzelnen Instituten vorgenommen werden. Zur detaillierten Analyse der zu erwartenden Belastung der Kapazitäten ist eine Drill-Down-Funktion in den Bericht integriert, die eine Disaggregation der Kennzahlen entlang der Hierarchie der Organisationseinheiten eines Fachbereichs (bspw. Institut→Lehrbereich→Fachgebiet→Dozent) ermöglicht. Zur Fundierung der Belegung personeller und sachlicher Kapazitäten einzelner Organisationseinheiten werden je Hierarchieebene zusätzliche Detailberichte bereitgestellt, die die prognostizierte Teilnehmerzahl auf einem der jeweiligen Hierarchieebene entsprechenden Aggregationsniveau darstellen. Es erfolgt eine zeitgesteuerte, zielgruppenbasierte Verteilung dieser Detailberichte, z. B. zu Beginn eines Semesters, an die Leiter der Organisationseinheiten.

Der prognostischen Fundierung der Belegung bereitgestellter Räume, die unter der Prämisse einer möglichst hohen Raumauslastung nur in enger Abstimmung mit der Terminplanung erfolgen kann (vgl. Kapitel 3.2.1; 3.2.2), dient ein weiterer Standardbericht. Dieser stellt die Kennzahl Teilnehmerzahl gruppiert nach einzelnen Modularten (Vorlesung, Seminar, Computer-Lab) für mindestens drei auf den Zeitpunkt der Planerstellung folgende Semester dar, um einen Abgleich der zur Verfügung stehenden Kapazität an Räumen bestimmter Art mit der zu erwartenden Kapazitätsnachfrage zu ermöglichen. Eine in den Bericht integrierte Drill-Down-Funktion ermöglicht die Disaggregation der Kennzahl auf das Aggregationsniveau einzelner Module einer bestimmten Modulart. Die Voraussetzung eines Abgleichs von Kapazitätsnachfrage und Kapazitätsangebot zur Fundierung der Zuordnung einzelner Module zu Räumen geeigneter Größe und Art wird hierdurch geschaffen.

⁶⁷ Hier und im Folgenden wird der Annahme gefolgt, dass der Zeitpunkt der Planerstellung und der Zeitpunkt der Erstellung der zur Fundierung der Planung benötigten Prognosen identisch sind.

Die Verteilung von Modulen auf Räume und Zeiten sollte im Rahmen der Terminplanung so erfolgen, dass von Studierenden häufig in Kombination belegte Module nicht zur gleichen Zeit angeboten werden. Um eine solche, möglichst überschneidungsfreie Verteilung von Modulen auf Räume und Zeiten zu ermöglichen, wird ein Bericht bereitgestellt, der eine sogenannte Kollisionsmatrix darstellt. Die Kollisionsmatrix listet in ihren Zeilen und Spalten alle anzubietenden Module auf. In ihren Zellen findet sich die Kennzahl „Zahl an Studierenden“, wobei ein Filter auf genau ein zukünftiges Semester gesetzt ist. Damit erfolgt für jedes angebotene Modul die Darstellung der für ein Semester prognostizierten Anzahl an Kombinationen mit anderen Modulen.

In alle Standardberichte ist ein markierendes Exception Reporting integriert. Es dient bspw. der Visualisierung von Überschreitungen des Kapazitätsangebots durch prognostizierte Kapazitätsnachfragegrößen sowie von prognostizierten Häufungen kombinatorischer Modulbelegungen in der Kollisionsmatrix. Die hierfür benötigten Schwellenwerte (z. B. Werte des Kapazitätsangebots und einer akzeptablen Anzahl an Überschneidungen je Modul) können durch die adressierten Entscheidungsträger manuell definiert werden.

Ein **analytisches Berichtswesen** dient der Fundierung der Kapazitätsplanung auf der strategisch-taktischen Ebene eines hochschulinternen Planungssystems, d. h. der Kapazitätsdimensionierung und der Festlegung einer Kapazitätsstrategie. Im Rahmen der Kapazitätsdimensionierung und der Festlegung einer Kapazitätsstrategie ist jeweils eine Analyse mehrerer Prognosegegenstände, z. B. „Zahl der Studierenden“, „Zahl der Studierenden in Regelstudienzeit“, „Zahl der Studierenden in den ersten vier Fachsemestern“, „Teilnehmerzahl“ auf verschiedenen Aggregationsniveaus erforderlich (vgl. Kapitel 3.1.1; 3.1.2). Den mit diesen Teilaufgaben der hochschulinternen Kapazitätsplanung befassten Entscheidungsträgern (Mitgliedern des strategischen und operativen Hochschulmanagements) wird daher auf Basis eines OLAP-Würfels eine flexible, dynamische Navigation durch die Prognosedaten ermöglicht. Die zur Fundierung der Kapazitätsplanung auf dieser Ebene eines hochschulinternen Planungssystems erforderlichen Prognosegegenstände stellen Kennzahlen in diesem OLAP-Würfel dar. Die Organisationseinheiten einer Hochschule sind als Dimension implementiert, entlang deren Hierarchie die für Teilaspekte der Kapazitätsplanung erforderlichen Aggregationen bzw. Disaggregationen der Kennzahlen erfolgen. Darüber hinaus umfasst der OLAP-Würfel eine Zeitdimension, die auf dem niedrigsten Aggregationsniveau einzelne Semester beinhaltet, um Entscheidungsträgern eine flexible

Auswahl des zu betrachtenden Prognosehorizonts zu ermöglichen. Die Integration einer Dimension „Prognosekonfiguration“ erlaubt zusätzlich den Vergleich der Ergebnisse mehrerer, aus verschiedenen konfigurierten Läufen der CBR-Komponente resultierender Prognoseergebnisse.

5.3.2 Datenbanksystem zur Versorgung des Berichtswesens mit aufbereiteten Prognoseergebnissen

Ein Data Mart, dem ein multidimensionales Datenmodell zugrundeliegt, bildet das zentrale Element der datengetriebenen Komponente, das Datenbanksystem. Er dient als Datenquelle sowohl des Standard- als auch des analytischen Berichtswesens. Vor dem Hintergrund der spezifischen Anforderungen des Berichtswesens repliziert der Data Mart einen Teil der in einem hochschulweiten DWH enthaltenen Daten. Bspw. ist eine Ableitung der Dimensionen Zeit und Organisationseinheit sowie deren Hierarchien aus dem DWH vorgesehen. Der Data Mart ist damit als abhängig zu bezeichnen (vgl. Kapitel 4.1.2). Zur Versorgung des Berichtswesens mit Prognosedaten werden zusätzlich zu den aus dem DWH abgeleiteten Daten auch die in der Prediction Base vorliegenden Ergebnisse der Prognoseerstellung sowie die prognoseorientierten Metadaten (vgl. Kapitel 5.2.2.8) in den Data Mart geladen. Da die Kennzahlenaggregation, mithin die Aggregation der für Studierende individuell prognostizierten Modul- bzw. Klausurbelegungen, die im Berichtssystem benötigt werden, durch einfache Durchschnitts- oder Summenfunktionen erfolgen kann, sind beim Laden der Daten in den Data Mart keine komplexen Datenaufbereitungen erforderlich. Vielmehr werden atomare Prognosedaten, d. h. prognostizierte Modul- bzw. Klausurbelegungen auf dem Aggregationsniveau eines Studierenden aus der Prediction Base in den Data Mart repliziert. Als Ladezeitpunkt wird das Ende des Subprozesses ISP-Revise des angepassten, erweiterten CBR-cycle festgelegt. Denn erst zu diesem Zeitpunkt ist das maximal erreichbare Niveau der Qualität der Prognosedaten zu erwarten, da im Anschluss daran keine zur Verbesserung der Qualität beitragende Evaluation der Prognoseergebnisse im Hinblick auf individuelle studentische Präferenzen mehr vorgenommen werden kann.

5.4 Steuerung und Zusammenspiel der Komponenten

Die vorgesehene Steuerung und das Zusammenspiel der in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten Komponenten des zusammengesetzten DSS wird im Folgenden am Beispiel eines abstrakten Anwendungsszenarios erläutert, dessen Ausgangssituation darin besteht,

dass ein Entscheidungsträger des Hochschulmanagements zu einem beliebigen Zeitpunkt t Prognosen der Kapazitätsnachfrage zur Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung benötigt. Welche der Teilaufgaben der hochschulinternen Kapazitätsplanung der Entscheidungsträger ausführt, ist dabei unerheblich. Ferner liegt dem Szenario die Annahme zugrunde, dass durch das DSS vor t noch keine Prognosen erstellt wurden. Sowohl die Prediction Base als auch der Data Mart beinhalten folglich initial keine Prognosedaten, sondern ausschließlich vordefinierte, prognosebezogene Metadaten zur Unterstützung der Konfiguration von Prognoseläufen.

Das Zusammenspiel erfolgt ausschließlich über die in die Benutzerschnittstelle integrierte Ablaufsteuerung und wird vom Entscheidungsträger als Systemanwender durch den *Aufruf des DSS über die Benutzerschnittstelle* angestoßen. Die Erstellung einer Prognose beginnt mit der *Konfiguration der CBR-Komponente* durch den Entscheidungsträger. Das DSS bietet dazu vordefinierte Konfigurationen an, die bei Bedarf über die Benutzerschnittstelle angepasst werden können. Dazu lädt die Ablaufsteuerung prognosebezogene Metadaten aus der Prediction Base und stellt sie dem Entscheidungsträger über die Benutzerschnittstelle bereit. Insbesondere wird der Entscheidungsträger zur Auswahl des zu verwendenden Ähnlichkeitsmaßes und zur Gewichtung der Fallattribute aufgefordert. Darüber hinaus legt der Entscheidungsträger fest, welche der optionalen Subprozesse des angepassten, erweiterten CBR-cycles ausgeführt werden sollen. Nach Abschluss der Konfiguration stößt der Entscheidungsträger über die Benutzerschnittstelle die *Speicherung der Konfigurationsparameter* an, auf die der *Start der Prognoseerstellung* folgt. Die Ablaufsteuerung schreibt die Konfigurationsparameter in die Prediction Base und übergibt sie zusätzlich der CBR-Komponente. Durch *Ausführung aller im Rahmen der Konfiguration ausgewählten Subprozesse* erstellt die CBR-Komponente Prognosen individueller Studienverläufe und speichert diese in der Prediction Base. Nach Abschluss aller Subprozesse des angepassten, erweiterten CBR-cycles stößt die Ablaufsteuerung *Datenbewirtschaftungsprozesse* an, durch die die für das Berichtswesen *benötigten Daten aus einem hochschulweiten DWH* sowie *Prognosedaten aus der Prediction Base* extrahiert, entsprechend des Datenmodells des Data Marts transformiert und *in den Data Mart geladen* werden. Die durch das Berichtswesen bereitgestellten Standard- und analytischen Berichte kann der Entscheidungsträger im Anschluss über die Benutzerschnittstelle aufrufen und zur Fundierung der Kapazitätsplanung nutzen.

TEIL III

Prototypische Umsetzung
und Evaluation des Konzepts

6 Prototypische Implementierung des Konzepts

Teil II dieser Arbeit hat das generische Konzept eines zusammengesetzten DSS zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf allen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems vorgestellt. In diesem Kapitel wird ein Prototyp beschrieben, der das Konzept am Beispiel verschiedener Studiengänge eines Fachbereichs der Universität Osnabrück umsetzt und die Basis der Evaluation des Konzepts darstellt. Ausgehend von einer Diskussion der Entwicklungsumgebung, in der der Prototyp implementiert wurde (Kapitel 6.1), erfolgt eine Erläuterung der implementierten Benutzerschnittstelle, die die Interaktion eines Entscheidungsträgers mit den Komponenten des zusammengesetzten DSS ermöglicht (Kapitel 6.2). Daran schließt sich eine eingehende Beschreibung der CBR-Komponente an, die als zentraler Bestandteil des Konzepts der Erstellung von Prognosen individueller Studienverläufe dient (Kapitel 6.3). Schließlich wird die Realisierung der datengetriebenen Komponente zur Versorgung von Entscheidungsträgern der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme erläutert (Kapitel 6.4).

6.1 Entwicklungsumgebung

Mit dem Begriff „Entwicklungsumgebung“ wird im Folgenden die Gesamtheit der (Programmier-) Sprachen, Frameworks⁶⁸ und Werkzeuge bezeichnet, die im Rahmen der prototypischen Implementierung des im zweiten Teil der vorliegenden Arbeit erläuterten Konzepts verwendet wurden. Die Entwicklungsumgebung umfasst im Einzelnen:

- das Framework *jCOLIBRI* als Basis für die Realisierung der CBR-Komponente,
- die Programmiersprache *Java* zur Spezialisierung des *jCOLIBRI* Frameworks sowie zur Implementierung der Ablaufsteuerung,
- die Frameworks *JavaServer Faces (JSF)* und *JBoss RichFaces* zur Realisierung der Benutzerschnittstelle der für den Subprozess ISP-Revise vorgesehenen Web-Anwendung sowie zur Implementierung der Benutzerschnittstelle des zusammengesetzten DSS,

⁶⁸ Mit dem Begriff Framework werden semi-vollständige Applikationen bezeichnet, die Entwicklern eine wiederverwendbare, gemeinsame Struktur für die Anwendungsentwicklung zur Verfügung stellen. Frameworks werden in Anwendungen integriert und erweitert (spezialisiert), um spezifische Anforderungen (z. B. einer Domäne) erfüllen zu können. (vgl. Fayad & Schmidt, 1997; R. E. Johnson & Foote, 1988)

- die Ontologiesprache *Web Ontology Language (OWL)* zur Erstellung der für die Subprozesse Identify und OR-Revise benötigten Ontologie,
- das Framework *JBoss Drools Expert* zur Realisierung des auf der Ontologie basierenden RBR-Systems,
- das Werkzeug *Informatica PowerCenter* zur Realisierung der Datenbewirtschaftungsprozesse,
- die relationale Datenbank *Oracle* zur persistenten Speicherung von Fällen sowie zur Realisierung der Prediction Base und des Data Marts,
- die Business Intelligence (BI)-Lösung *IBM Cognos Business Intelligence (BI)* zur Realisierung des Berichtswesens.

jCOLIBRI ist ein am Institut für Software-Engineering und künstliche Intelligenz der Universität Complutense Madrid entwickeltes, objektorientiertes Framework für die Realisierung von CBR-Systemen. Das Framework stellt wesentliche Funktionen und Programmstrukturen wie z. B. Schnittstellen zu Datenbanken und Ontologien, den Kontrollfluss zur Umsetzung eines CBR-cycles sowie verschiedene Ähnlichkeitsmaße bereit (vgl. Recio García, 2008, S. 5 ff.). Die Repräsentation spezifischen Wissens erfolgt objektorientiert, Fälle bestehen aus Objekten beliebiger Klassen, die dem Komponentenmodell von JavaBeans⁶⁹ folgen und die durch jCOLIBRI vorgegebene Schnittstelle `CaseComponent` implementieren (vgl. Recio García, 2008, S. 14 f.). jCOLIBRI ist in der Programmiersprache Java implementiert (vgl. Recio García, 2008, S. 6) und steht als Open Source Software unter der GNU Lesser General Public License (LGPL) zur Verfügung. Für die Implementierung der CBR-Komponente wurde jCOLIBRI in der Version 2.0 gewählt, da die durch das Framework vorgegebene Struktur zur objektorientierten Fallrepräsentation einen überschaubaren Aufwand für die Umsetzung des in den Kapiteln 5.2.1.1 und 5.2.1.2 diskutierten Konzepts der Repräsentation individueller studentischer Erfahrungen verspricht. Darüber hinaus ist das Framework einerseits für die schnelle Prototypentwicklung im akademischen Umfeld ausgelegt, erlaubt andererseits aber auch die Entwicklung umfangreicher Produktivsysteme (vgl. Recio García, Díaz-Agudo, & González-Calero, 2008, S. 8). Damit ist im Falle einer positiven Evaluation der prototypischen Implementierung des Konzepts die Basis zur Weiterentwicklung des Prototyps zu einem Pilot- oder Produktivsystem gegeben.

⁶⁹ Eine detaillierte Erläuterung der JavaBeans findet sich z. B. bei Ullenboom (2012, S. 861 ff.).

Aus der Nutzung des in der objektorientierten Programmiersprache **Java** implementierten Frameworks **jCOLIBRI** bestimmt sich die Verwendung dieser Sprache zur Implementierung von Erweiterungen und Anpassungen des Frameworks, die für die Realisierung der CBR-Komponente notwendig sind. Da **jCOLIBRI** einen Kontrollfluss für einen CBR-cycle – und damit einen Teil des durch die Ablaufsteuerung zu implementierenden Kontrollflusses – vorgibt, wird Java auch zur Implementierung der Ablaufsteuerung eingesetzt. Java zeichnet sich u. a. durch Plattform- bzw. Betriebssystemunabhängigkeit aus (vgl. Ullendörff, 2012, S. 52), so dass der Prototyp leicht auf Rechnersystemen mit unterschiedlichen Architekturen, Prozessoren und Betriebssystemen implementiert werden kann.

JavaServer Faces (JSF) ist ein Framework-Standard zur Entwicklung von Benutzerschnittstellen für Web-Anwendungen (im Folgenden webbasierte Benutzerschnittstellen) im Java-Umfeld (vgl. Burns & Schalk, 2010, S. 3). Es wurde im Rahmen eines Java Community Process (JCP) unter Beteiligung mehrerer marktführender IT-Unternehmen wie Sun Microsystems, Oracle und IBM entwickelt und zielt auf eine Vereinfachung der Benutzerschnittstellen-Entwicklung z. B. im Vergleich mit grundlegenden Java Web Technologien wie Servlets oder JavaServer Pages (vgl. Burns & Schalk, 2010, S. 3 f.). Insbesondere erlaubt JSF den Aufbau von webbasierten Benutzerschnittstellen aus vordefinierten Komponenten, es erleichtert den Zugriff auf und die Verwaltung von Daten einer Anwendung aus webbasierten Benutzerschnittstellen und es verwaltet auch bei mehreren parallelen Benutzersitzungen automatisch den Zustand der Anwendung (vgl. Burns & Schalk, 2010, S. 4). **JBoss RichFaces** ist ein Framework, das JSF um Komponenten erweitert, insbesondere Ajax-Funktionalitäten ergänzt, und damit eine einfache Integration komplexer Interaktionsmöglichkeiten wie Drag&Drop in webbasierte Benutzerschnittstellen erlaubt (vgl. Leathem, Fryc, & Rogers, o. J., S. 1/87). Die Kombination der Frameworks JSF in der Version 2.0 und JBoss RichFaces in der Version 4.1 wurde für die Realisierung der Benutzerschnittstelle der für den Subprozess ISP-Revise vorgesehenen Web-Anwendung gewählt, da sie aufgrund der genannten Eigenschaften beider Frameworks eine strukturierte und komfortable Umsetzung der Anforderungen wie Mehrbenutzerfähigkeit und Zugriff auf die in der Prediction Base serialisierten (Iterated) Solved Cases (vgl. Kapitel 5.2.2.9) bietet. Ferner stellt JSF einen De-facto-Standard zur Entwicklung von webbasierten Benutzerschnittstellen im Java-Umfeld dar. Um mehreren Entscheidungsträgern parallel einen webbasierten Zugriff auf das zusammengesetzte DSS zu ermöglichen, wurde die Kombination der Frameworks auch zur Implementierung der Benutzerschnittstelle des zusammengesetzten DSS verwendet.

Die **Web Ontology Language (OWL)** wurde vom World Wide Web Consortium (W3C) als formale Beschreibungssprache zur Erstellung von Ontologien standardisiert (vgl. Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 125; Horrocks, Patel-Schneider, & van Harmelen, 2003, S. 7). Den Mittelpunkt von in OWL erstellten Ontologien bilden Klassen, Instanzen der Klassen, sogenannten Individuen, und Relationen (vgl. Hitzler u. a., 2008, S. 129). Einzelne Elemente einer in OWL erstellten Ontologie können in komplexe Beziehungen miteinander gesetzt werden können. Insbesondere erlaubt OWL die Spezifikation von Äquivalenzbeziehungen und geht damit in ihrer Ausdrucksmächtigkeit über andere verbreitete Ontologiesprachen wie z. B. Resource Description Framework Schema (RDFS) hinaus (vgl. Antoniou, Franconi, & van Harmelen, 2005, S. 10). OWL liegt eine Extensible Markup Language (XML)-Syntax zugrunde (vgl. Antoniou & van Harmelen, 2004, S. 72), welche eine maschinelle Verarbeitung des auf eine (OWL-) Ontologie abgebildeten Wissens erlaubt (vgl. Antoniou u. a., 2005, S. 8). Aus der XML-Syntax resultierende Nachteile hinsichtlich der Lesbarkeit durch Menschen gegenüber anderen Ontologiesprachen wie z. B. DAML+OIL werden durch die Verfügbarkeit von Modellierungswerkzeugen aufgewogen (vgl. Antoniou & van Harmelen, 2004, S. 68). Zur deklarativen Abbildung generellen, in den Subprozessen Identify und OR-Revise benötigten Wissens auf eine Ontologie wird OWL genutzt, da diese Sprache einerseits die konzeptuell vorgesehene Abbildung von Äquivalenzbeziehungen zwischen Entitäten der betrachteten Domäne (vgl. Kapitel 5.2.2.7) erlaubt und andererseits jCOLIBRI eine definierte Schnittstelle zum Zugriff auf OWL-Ontologien zur Verfügung stellt. Eine komfortable Möglichkeit zur Integration des auf eine OWL-Ontologie abgebildeten Wissens in den angepassten, erweiterten CBR-cycle ist damit gegeben.

JBoss Drools Expert ist ein vollständig Java-basiertes Open Source Framework zur Erstellung von RBR-Systemen und stellt den Kern des von der Firma JBoss als „Business Logic integration Platform“ bezeichneten Projekts Drools dar. Fakten werden im JBoos Drools Expert als JavaBeans modelliert (vgl. P. Browne, 2009, S. 230). Sie werden zur Laufzeit einer im Hauptspeicher gehaltenen Faktenbasis, dem sogenannten Working memory, zugewiesen (vgl. P. Browne, 2009, S. 230). Zur Regelspezifikation wird eine Drools-native Regelsprache⁷⁰ bereitgestellt (vgl. o.V., 2013a, S. 125). Die grundlegende Struktur in dieser Sprache formulierter Regeln folgt der aus Kapitel 4.2.2.4 bekannten

⁷⁰ Auf eine detaillierte Erläuterung der Drools-nativen Regelsprache wird an dieser Stelle verzichtet. Eine eingehende Diskussion der Konzepte dieser Sprache findet sich z. B. im Drools Expert User Guide (vgl. o.V., 2013a, S. 125 ff.).

Form „Wenn Prämisse, dann Konklusion“ (vgl. o.V., 2013a, S. 126). Die Regelspezifikation kann unterstützt durch den sogenannten JBoos Drools Guvnor erfolgen (vgl. P. Browne, 2009, S. 79 ff.), der eine zusätzliche Komponente des Projekts Drools darstellt. Zur Ausnutzung des vollen Umfangs der bereitgestellten Regelsyntax wird jedoch die Nutzung des als Teil des Frameworks in Form eines Plugins für die integrierte Entwicklungsumgebung Eclipse zur Verfügung gestellten Regeleditors vorgeschlagen (vgl. P. Browne, 2009, S. 111 ff.). Die Speicherung von Regeln erfolgt in einfachen Textdateien, sogenannten Drools Rule Language (DRL)-Dateien (vgl. P. Browne, 2009, S. 79), die in ihrer Gesamtheit die Regelbasis eines mit dem Framework implementierten RBR-Systems darstellen. Die Inferenzmaschine des JBoss Drools Expert implementiert den Rete-Algorithmus in einer für die Integration in objektorientierte Anwendungen optimierten Version (ReteOO) (vgl. o.V., 2013a, S. 4) und erlaubt sowohl Vorwärts- als auch Rückwärtsverkettung (vgl. P. Browne, 2009, S. 268). Das Framework wurde für die Realisierung des im Konzept des Subprozesses OR-Revise vorgesehenen RBR-Systems verwendet, da die Möglichkeit zur Erstellung einer Faktenbasis aus beliebigen JavaBeans eine direkte Verwendung objektorientiert modellierter (Iterated) Solved Cases als Fakten erlaubt. Darüber hinaus stehen mit dem Projekt Drools weitere Frameworks zur Verfügung, die bspw. eine Erweiterung des in dieser Arbeit vorgestellten Konzepts um Komponenten zur automatisierten Stundenplanung erlauben (vgl. o.V., 2013b, S. 31 ff.).

Das Werkzeug **PowerCenter** der Firma Informatica ist ein Spezialwerkzeug zur Datenintegration, das Komponenten zur Extraktion, zur Transformation, zur Qualitätssicherung und zum Laden von Daten umfasst (im Folgenden ETL-Werkzeug) (vgl. Bange, 2010, S. 92 f.). Es wurde in der Version 9.0 zur Realisierung der im Rahmen des Aufbaus der Fallbasis sowie der Beladung des Data Marts notwendigen Datenbewirtschaftungsprozesse genutzt, da es an der Universität Osnabrück bereits im produktiven Einsatz ist.

Auch die Auswahl der relationalen Datenbank **Oracle** basiert darauf, dass diese bereits produktiv an der Universität Osnabrück genutzt wird. Bspw. ist das hochschulweite DWH mittels einer Oracle Datenbank realisiert. Um eine Integration des zusammengesetzten DSS in die bestehende Systemlandschaft zu erleichtern, wird zur Datenhaltung die Oracle Datenbank in der Version 11g Release 2 Enterprise Edition gewählt.

IBM Cognos Business Intelligence (BI) ist ein BI-Werkzeug, das eine umfangreiche Palette an Reporting-, Analyse- und weiteren BI-Funktionen zur Verfügung stellt (vgl. Bange, 2010, S. 142 ff.). Zur Realisierung des Berichtswesens wurden insbesondere die

Komponenten IBM Cognos Report Studio, IBM Cognos Analysis Studio und IBM Cognos Framework Manager in der Version 10.1 verwendet. Mit dem IBM Cognos Report Studio wird ein webbasiertes Entwicklungswerkzeug für Standardberichte bereitgestellt (vgl. D. Browne, Desmeijter, Frealdo Dumont, Kamal, & Leahy, 2010, S. 6). Es bietet verschiedene Elemente zur Präsentation von Daten wie Listen, Kreuztabellen oder Diagramme sowie eine breite Auswahl an Funktionen zur Aggregation, Filterung und zum Exception Reporting (vgl. Volitich & Ruppert, 2012, S. 225 ff.). Das IBM Cognos Analysis Studio ist ein webbasiertes Entwicklungswerkzeug für analytische Berichte. Es fokussiert entsprechend die Analyse in einem multidimensionalen Datenmodell vorliegender Daten und stellt verschiedene OLAP-Funktionalitäten bereit (vgl. D. Browne u. a., 2010, S. 6 f.). Zielgruppe dieses Entwicklungswerkzeugs sind insbesondere sogenannte Business User, d. h. Angehörige des Managements, die zur Fundierung ihrer Entscheidungsfindung große Datenbestände analysieren müssen. Metadatenmodelle stellen im IBM Cognos BI-Umfeld eine Schnittstelle zwischen Datenquellen sowie Berichts- und Analysesichten dar und werden mit dem Modellerstellungstool IBM Cognos Framework Manager, einem Client-Tool für Windows-basierte Systeme, erstellt (vgl. D. Browne u. a., 2010, S. 34 ff.). Der IBM Cognos Framework Manager erlaubt u. a. die Definition multidimensionaler Metadatenmodelle auf Basis relationaler Datenquellen (R-OLAP), die als Dimensionally Modeled Relational (DMR) Modelle bezeichnet werden (vgl. D. Browne u. a., 2010, S. 34). Wie die Auswahl des ETL-Werkzeugs und der Datenbank basiert auch die Auswahl von IBM Cognos BI als Werkzeug zur Realisierung des Berichtswesens darauf, dass dieses Werkzeug an der Universität Osnabrück bereits im produktiven Einsatz ist. Auch durch den Einsatz dieses Werkzeugs soll eine komfortable Integration des zusammengesetzten DSS in die Systemlandschaft der Beispielhochschule gewährleistet werden.

6.2 Implementierung der Benutzerschnittstelle

Die Steuerung der Komponenten des realisierten zusammengesetzten DSS erfolgt vollständig webbasiert. Dazu wurde das DSS als Web-Anwendung entwickelt, deren Architektur dem Model-View-Controller (MVC)⁷¹ Muster folgt. Interaktionsmöglichkeiten werden

⁷¹ Model-View-Controller ist ein Muster zur Strukturierung von Anwendungen in die drei Komponenten Modell, View und Controller (vgl. Braun, Esswein, & Greiffenberg, 2006, S. 152). Das Modell beschreibt den Zustand und das Verhalten der Anwendungsdomäne, es umfasst Daten und Anwendungslogik (vgl. Braun u. a., 2006, S. 152). Views dienen der grafischen Darstellung von Daten aus dem Modell und stellen Interaktionsmöglichkeiten für Benutzer bereit, die durch Controller verarbeitet werden, Views und Controller bilden damit gemeinsam die Benutzerschnittstelle (vgl. Braun u. a., 2006, S. 152).

dem Benutzer (dem Entscheidungsträger) in Form von insgesamt sechs JSF-Seiten (Views) zur Verfügung gestellt, die sich im Ordner `WebContent` der Web-Anwendung finden.⁷² Die Verarbeitung der Interaktion sowie die Aufbereitung von Daten für die Präsentation in einzelnen Views übernehmen Controller-Klassen, die in die Packages `managedBeans`, `dataTables` und `Controllers` der Web-Anwendung eingeordnet sind. Über die Controller-Klassen erfolgt u. a. der Aufruf von Methoden zur CBR-Komponente gehörender Klassen (Modell der CBR-Komponente). Einzelne Verarbeitungsschritte zur Prognoseerstellung mittels der CBR-Komponente werden damit durch die Controller-Klassen gesteuert, so dass die Kombination aus Controller-Klassen und Klassen der CBR-Komponente als Ablaufsteuerung bezeichnet werden kann. Die datengetriebene Komponente des DSS ist insofern in die Web-Anwendung integriert, als dem Benutzer die Möglichkeit geboten wird, diese Komponente aus der Web-Anwendung heraus aufzurufen.

Den Einstiegspunkt in die Web-Anwendung bildet die JSF-Seite `index.xhtml` (vgl. Abbildung 6-1).

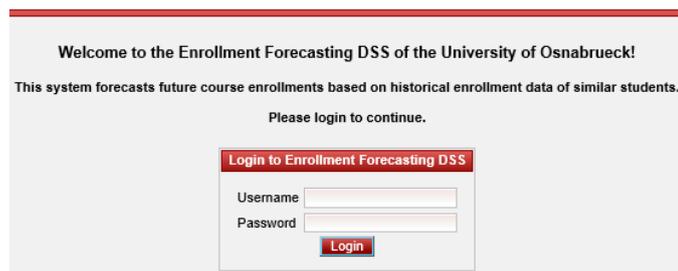


Abbildung 6-1: Die JSF-Seite `index.xhtml` - Anmeldung an der realisierten Web-Anwendung

Quelle: Eigene Darstellung

Die Seite besteht im Kern aus einem Login-Formular, über das ein simpler Authentifikationsprozess angestoßen wird: Durch die Methode `loginRP()` der Klasse `loginBean` erfolgt die Prüfung der über das Formular übermittelten Benutzerdaten gegen eine Datenbanktabelle, die der Benutzerverwaltung dient. Unterschieden werden im Prototyp zwei verschiedene Benutzerrollen, die eines Administrators und die eines Studierenden. Erstere ist u. a. allen Entscheidungsträgern der Kapazitätsplanung zugeordnet. Stimmen die übermittelten Benutzerdaten mit einem Datensatz der Datenbanktabelle überein und ist in der Tabelle für den Benutzer die Rolle Administrator hinterlegt, erfolgt eine Weiterleitung zur

⁷² Um eine Diffusion der Forschungsergebnisse in der internationalen Forschungsgemeinschaft zu ermöglichen, wurde die gesamte Anwendung in englischer Sprache entwickelt. Daher sind die im Folgenden diskutierten Interaktionsmöglichkeiten, Klassen und Methoden stets mit einer englischsprachigen Bezeichnung aufgeführt.

Einstiegsseite des Administrationsbereichs der Web-Anwendung, der JSF-Seite `indexAdmin.xhtml` (vgl. Abbildung 6-2).

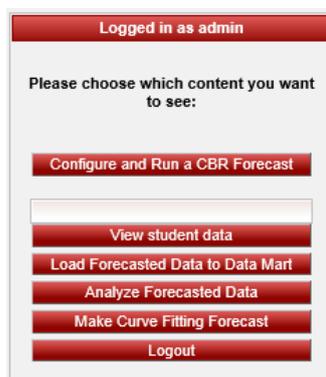


Abbildung 6-2: Die JSF-Seite `indexAdmin.xhtml` – Übersicht der Interaktionsmöglichkeiten für Benutzer mit der Rolle Administrator

Quelle: Eigene Darstellung

Zum Aufruf der datengetriebenen Komponente steht die Schaltfläche „Analyze Forecasted Data“ zur Verfügung, durch deren Betätigung eine Weiterleitung zur proprietären, webbasierten Benutzerschnittstelle des BI-Werkzeugs IBM Cognos BI erfolgt.⁷³ Die verschiedenen Standard- und analytischen Berichte, auf die der Benutzer über diese proprietäre Benutzerschnittstelle zugreifen kann, werden in Kapitel 6.4.2 erläutert.

Die zur Konfiguration und Steuerung der CBR-Komponente wesentlichen Interaktionsmöglichkeiten erreicht der Benutzer über die Schaltfläche „Configure and Run a CBR Forecast“, deren Betätigung in einer Weiterleitung auf die in Abbildung 6-3 dargestellte JSF-Seite `AdminAppConfig.xhtml` resultiert.

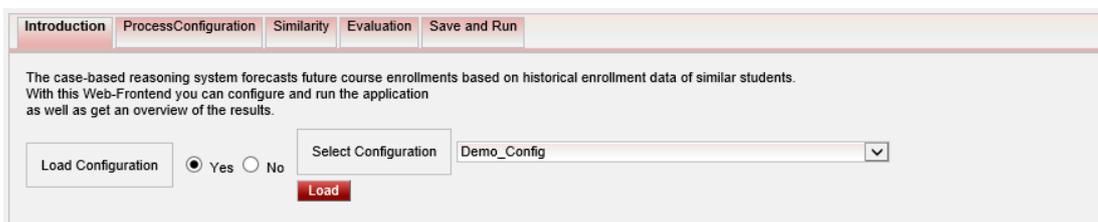


Abbildung 6-3: Die JSF-Seite `AdminAppConfig.xhtml` – Steuerung der CBR-Komponente (Teil 1)

Quelle: Eigene Darstellung

Die Seite ist mithilfe der JBoss RichFaces Komponente `tabPanel` grundsätzlich in die fünf Karteikartenreiter „Introduction“, „ProcessConfiguration“, „Similarity“, „Evaluation“ und „Save and Run“ unterteilt. Der Reiter „Introduction“ bietet dem Benutzer im Wesentlichen

⁷³ Auf eine nähere Erläuterung der Interaktion mit IBM Cognos BI wird an dieser Stelle verzichtet, da es sich bei dem Werkzeug um gut dokumentierte Standardsoftware handelt.

die im Konzept vorgesehene Möglichkeit, eine vordefinierte Konfiguration der CBR-Komponente zu laden. In Datenbanktabellen gespeicherte Konfigurationsparameter bzw. als Konfigurationsparameter zu interpretierende Metadaten eines früheren Prognoselaufs können dazu über das Ausklappmenü „Select Configuration“ ausgewählt und über die Schaltfläche „Load“ bzw. die für die Ausführung der für diese Schaltfläche definierten Aktion zuständige Methode der Controller-Klasse `loginBean` geladen werden. Die geladenen Parameter kann der Benutzer anschließend in den Karteikartenreitern „ProcessConfiguration“ (vgl. Abbildung 6-4) und „Similarity“ (vgl. Abbildung 6-5) an seine individuellen Präferenzen anpassen.

Abbildung 6-4: Die JSF-Seite AdminAppConfig.xhtml – Steuerung der CBR-Komponente (Teil 2)

Quelle: Eigene Darstellung

Im Karteikartenreiter „ProcessConfiguration“ werden Interaktionsmöglichkeiten zur Konfiguration des angepassten und erweiterten CBR-cycle angeboten. Der Benutzer kann über diesen Reiter z. B. steuern, ob der optionale Subprozess Repeat ausgeführt werden soll (Auswahl „Include Repetitions“ in Abbildung 6-4) und eine maximale Anzahl der im Rahmen dieses Subprozesses stattfindenden Iterationen des Subprozesses Retrieve festlegen (Schieberegler „Number of repetitions“). Dabei wird er unterstützt durch Hinweistexte, die bei Überfahren von Visualisierungselementen mit der Maus dynamisch eingeblendet werden, sowie durch die – je nach Vollständigkeit der Konfiguration in verschiedenen Ampelfarben eingefärbte – grafische Darstellung des Cycle im rechten Bereich des Karteikartenreiters.

Please configure the application

PreCycle Cycle configuration **Similarity** Evaluation Save and Run

Please choose the attributes you want to use for similarity measurement and their weights!

Select Type of Similarity Measure: Object Similarity (Wess, 1995)

Please select students' personal attributes to include in similarity measurement

Attribute Name	Include?	Attribute Weight	Attribute Name	Include?	Attribute Weight
Age	<input checked="" type="checkbox"/>	0 10 1	Birth Year	<input checked="" type="checkbox"/>	0 10 1
Birth Place	<input checked="" type="checkbox"/>	0 10 1	Sex	<input checked="" type="checkbox"/>	0 10 1
Grade of A-Level Graduation	<input checked="" type="checkbox"/>	0 10 1	Place of A-Level Graduation	<input checked="" type="checkbox"/>	0 10 1
Year of A-Level Graduation	<input checked="" type="checkbox"/>	0 10 1	Age at A-Level Graduation	<input checked="" type="checkbox"/>	0 10 1
Time between A-Level Graduation and first semester	<input checked="" type="checkbox"/>	0 10 1	A-Lev Distance to OS	<input checked="" type="checkbox"/>	0 10 1
A-Lev Town Inhabitants	<input checked="" type="checkbox"/>	0 10 1	A-Lev Type	<input checked="" type="checkbox"/>	0 10 1
A-Lev Country	<input checked="" type="checkbox"/>	0 10 1	Student History	<input checked="" type="checkbox"/>	0 10 1

Abbildung 6-5: Die JSF-Seite AdminAppConfig.xhtml – Steuerung der CBR-Komponente (Teil 3)

Quelle: Eigene Darstellung

Konzeptgemäß wird dem Benutzer im Karteikartenreiter „Similarity“ die Möglichkeit geboten, das im Subprozess Retrieve zu verwendende Ähnlichkeitsmaß über ein Ausklappenmenü („Select Type of Similarity Measure“ in Abbildung 6-5) zu bestimmen und eine Auswahl sowie Gewichtung der im Ähnlichkeitsmaß zu berücksichtigenden Fallattribute mithilfe von Auswahlboxen und Schieberegler vorzunehmen. Auch hierbei erfolgt eine Unterstützung durch Hinweistexte, die bei Überfahren von Visualisierungselementen mit der Maus dynamisch eingeblendet werden.

Im Karteikartenreiter „Save and Run“ kann der Benutzer die von ihm angepasste oder neu erstellte Konfiguration unter einer frei wählbaren Bezeichnung in einer Datenbank speichern und damit zur Wiederverwendung zur Verfügung stellen.

Introduction ProcessConfiguration Similarity Evaluation **Save and Run**

Store Configuration Enter Config Name: Altered_Demo_Config

Click to run the application with the configuration made in the other tabs. The configuration will be stored to the solution-database

Run a CBR Forecast

Run the Evaluation

Abbildung 6-6: Die JSF-Seite AdminAppConfig.xhtml – Steuerung der CBR-Komponente (Teil 4)

Quelle: Eigene Darstellung

Einen Prognoselauf stößt der Benutzer über die Schaltfläche „Run a CBR Forecast“ dieses Reiters an (vgl. Abbildung 6-6). Durch Betätigung dieser Schaltfläche werden die Konfigurationsparameter aus allen Karteikartenreitern über Methoden der Klasse `AppController` aus dem Package `Controllers` Objekten zur CBR-Komponente gehörender Klassen übergeben. Eng ausgelegt erfolgt (erst) damit die Konfiguration der CBR-Komponente. Die Methode `configureApp()` der Klasse `AppController` stößt anschließend durch den Aufruf einer Methode der Klasse `CBRApp` einen Prognoselauf sowie nach der Ausführung des Prognoselaufs einen Informatica Workflow zur Beladung des Data Marts mit Prognoseergebnissen an. Die Durchführung eines über die Benutzerschnittstelle bzw. die Methoden der Klasse `AppController` konfigurierten und angestoßenen Prognoselaufs wird im Rahmen der Erläuterung der realisierten CBR-Komponente im folgenden Kapitel 6.3 ausführlich beschrieben.

6.3 Implementierung der CBR-Komponente

6.3.1 Strukturierung des Programmcodes

Die Struktur des Programmcodes der CBR-Komponente ist grundsätzlich an den Vorgaben des Frameworks `jCOLIBRI` sowie des Frameworks `JSF` orientiert. In Java wurden zur Implementierung der Komponente die Packages `CoursePredictor`, `HibernateClasses`, `RBRevise`, `DataTables`, `ManagedBeans` und `Controllers` angelegt, die zusammen 42 Klassen mit insgesamt ca. 15.100 Programmzeilen (inklusive Strukturierung und Kommentierung) umfassen. Das Framework `jCOLIBRI` wird durch das Package `jcolibri` bereitgestellt. Alle Packages sind integriert in das `JSF`-Projekt `WebCBR` und damit Teil der in Kapitel 6.2 eingeführten Web-Anwendung. Die Struktur des Projekts ist in Abbildung 6-7 dargestellt.

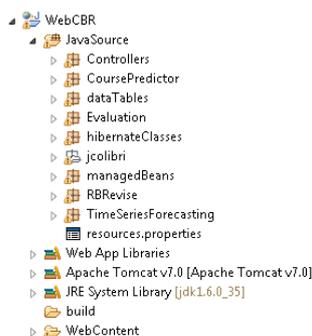


Abbildung 6-7: Struktur des JSF-Projekts `WebCBR`

Quelle: Eigene Darstellung

Die Klassen der Packages `CoursePredictor`, `HibernateClasses`, `RBRevise`, `DataTables` und `jcolibri` stellen Modell-Klassen der CBR-Komponente dar, während die Klassen der Packages `Controllers` und `ManagedBeans` Controller-Klassen sind.

Den Kern der CBR-Komponente bilden die Klassen des Packages `CoursePredictor`. Sie dienen der Repräsentation spezifischen Wissens, der Ablaufsteuerung des angepassten, erweiterten CBR-cycle, der Erzeugung von Query und Dummy Cases sowie der Reorganisation von Previous Cases. Neben Klassen enthält das Package auch eine Datei `BScWi-Wi.owl` – die für die Subprozesse Identify und OR-Revise benötigte OWL-Ontologie. Die Klasse `CBRApp` aus diesem Package ist der zentrale Bestandteil der CBR-Komponente, sie regelt den gesamten Ablauf des angepassten, erweiterten CBR-cycle.

Das Package `HibernateClasses` stellt Klassen bereit, die die (De-)Serialisierung von Previous und (Iterated) Solved Cases unterstützen und umfasst insbesondere 19 xml-Dateien – Mapping- und Konfigurationsdateien, die für die (De-)Serialisierung benötigte Metadaten bereitstellen.

Im Package `RBRevise` liegen neben Klassen, die für die Ausführung des Subprozesses OR-Revise verantwortlich sind, auch zwei DRL-Dateien, die die Regelbasis des in diesem Subprozess verwendeten RBR-Systems darstellen, sowie zwei Dateien zur Steuerung der Regelausführung vor.

Der Bereitstellung von Studienverlaufsdaten, d. h. des Beschreibungs- und Lösungsteils von (Iterated) Solved Cases in einer für die im Rahmen des Subprozesses ISP-Revise stattfindenden Evaluation optimierten Form dienen Klassen des Packages `DataTables`.

Das Package `jcolibri` umfasst neben den durch das Framework bereitgestellten Klassen auch drei Klassen, die das Framework erweitern – z. B. die Klasse `StudentGlobalSimilarityFunction`, die das in Kapitel 4.2.2.4 erläuterte rekursive Lokal-Global Prinzip sowie das in Kapitel 5.2.2.4 diskutierte angepasste Lokal-Global Prinzip implementiert.

Nachdem in diesem Kapitel die Struktur des Programmcodes zur Realisierung der CBR-Komponente überblicksartig dargestellt wurde, erfolgt im folgenden Kapitel 6.3.2 eine detaillierte Erläuterung der im Package `CoursePredictor` bereitgestellten Klassen zur Repräsentation spezifischen Wissens sowie der ebenfalls in diesem Package vorliegenden

Ontologie. In Kapitel 6.3.3 schließt sich eine detaillierte Diskussion der Implementierung des angepassten, erweiterten CBR-cycles an.

6.3.2 Realisierung der Wissensrepräsentation

6.3.2.1 Repräsentation individueller studentischer Erfahrungen durch Fälle

Ein Fall ist in jCOLIBRI grundsätzlich ein Objekt der Klasse `CBRCase`, die eine Spezialisierung der Klasse `CBRQuery` darstellt. Jedes Objekt der Klasse `CBRCase` ist durch die Spezifikation relationaler Attribute zerlegt in Unterobjekte beliebiger Klassen, die das Interface `CaseComponent` implementieren und als JavaBeans implementiert sind. Unterobjekte sind entweder Teil der Beschreibung (relationales Attribut `description`) oder der Lösung (relationales Attribut `solution`) eines Falles oder sie stellen die Begründung einer Lösung (relationales Attribut `justificationOfSolution`) bzw. das Ergebnis der Anwendung einer Lösung (relationales Attribut `result`) dar (vgl. Abbildung 6-8).

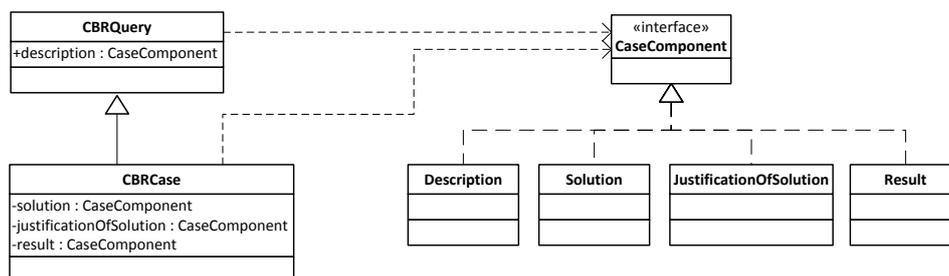


Abbildung 6-8: Fallrepräsentation in jCOLIBRI

Quelle: In Anlehnung an (Recio García, 2008, S. 14)

Auf Basis dieser vorgegebenen Fallstruktur ist das in den Kapiteln 5.2.1.1 und 5.2.1.2 vorgestellte Konzept zur Repräsentation individueller studentischer Erfahrungen mittels einer objektorientierten Fallrepräsentation direkt umsetzbar:

Ein Fall besteht grundlegend aus einem Objekt der Klasse `CBRCase`, die der Klasse `Fall` (vgl. Kapitel 5.2.1.1; 5.2.1.2) entspricht. Objekte der Klasse `CBRCase` werden durch die relationalen Attribute `description` und `solution` in genau eine Beschreibung und genau eine Lösung zerlegt. Die Beschreibung besteht aus genau einem Objekt der Klasse `CaseStudent`, die im Wesentlichen der Klasse `Student` (vgl. Kapitel 5.2.1.1; 5.2.1.2) gleicht. Im Gegensatz zu `Student` ist `CaseStudent` ein JavaBean und implementiert das Interface `CaseComponent`, um im Kontext von jCOLIBRI einen validen Bestandteil

eines Falls darstellen zu können. Ferner umfasst `CaseStudent` gegenüber dem Konzept ergänzende einfache Attribute wie `name` oder `distanceKmATown`, die einer einfachen Identifikation repräsentierter Studierender dienen und einem Entscheidungsträger größere Flexibilität bei der Definition des Ähnlichkeitsmaßes bieten. Der im Konzept spezifizierte Ansatz zur Repräsentation mehrerer Studiengänge für einen Studierenden ist durch die Definition des `HashSet`-Objekts `studHistory` realisiert, das ein Äquivalent des im Konzept spezifizierten relationalen Attributs `studienverlauf` der Klasse `Student` darstellt. Das `HashSet`-Objekt kann Referenzen auf beliebig viele Objekte der Klasse `CaseStudHistory` enthalten, die im Wesentlichen der Klasse `Studienverlauf` (vgl. Kapitel 5.2.1.1; 5.2.1.2) gleicht. Wie `CaseStudent` ist auch `CaseStudHistory` ein `JavaBean` und implementiert das Interface `CaseComponent`. Die Klasse umfasst gegenüber dem Konzept zusätzliche einfache Attribute, die eine Identifikation des repräsentierten Studiengangs erleichtern und u. a. Zusatzinformationen hinsichtlich des Studienfortschritts eines Studierenden bieten (z. B. `programFin` zur Repräsentation von Wissen darüber, ob der Studiengang abgeschlossen ist). Äquivalent wurden auch die im Konzept vorgesehenen Klassen `Fachsemester` und `Modul` durch Spezifikation der Klassen `CaseStudSemester` und `CaseStudExam` realisiert, wobei relationale Attribute stets als `HashSets` implementiert wurden (vgl. Abbildung 6-9).

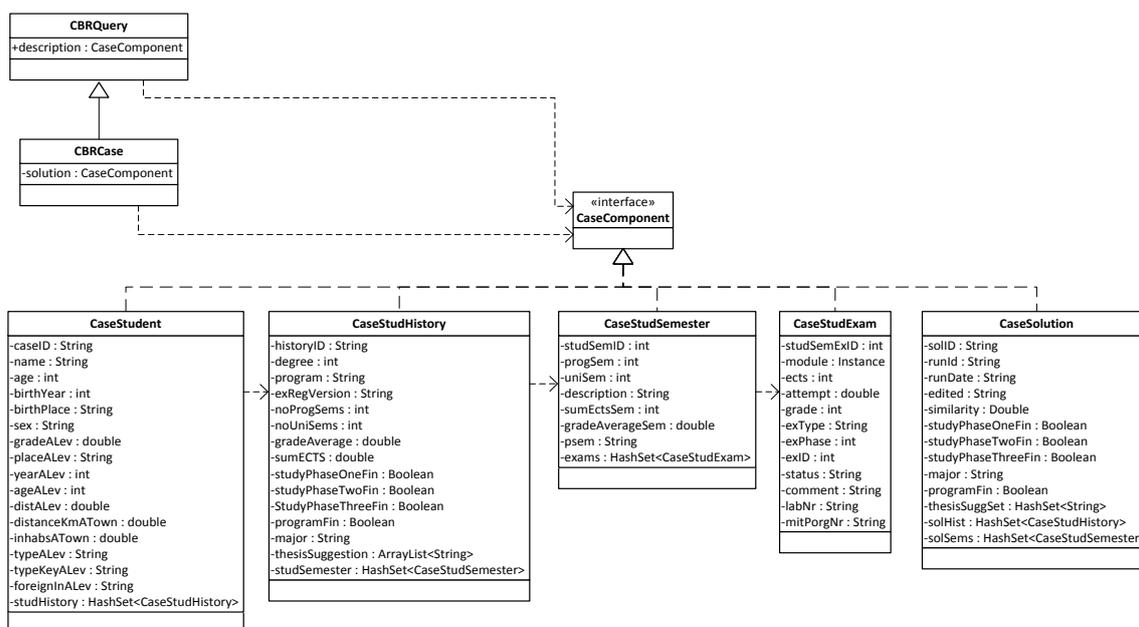


Abbildung 6-9: Umsetzung des Konzepts der Fallrepräsentation mit dem jCOLIBRI Framework

Quelle: Eigene Darstellung

Durch Objekte der Klasse `CaseStudExam` werden einzelne Klausuren, d. h. Modulprüfungen, repräsentiert, die ein Studierender im Verlauf seines Studiums belegt hat. Eng ausgelegt erlaubt diese Repräsentationsform die Prognose der Teilnahme an Klausuren, nicht jedoch an anderen Komponenten, aus denen ein Modul besteht (z. B. Vorlesung und Übung).⁷⁴ Diese Einschränkung war aufgrund der an der Beispielhochschule fehlenden verlässlichen Datengrundlage hinsichtlich der Teilnahme einzelner Studierender an Modulkomponenten erforderlich. Zu beachten ist ferner, dass das Attribut `module` der Klasse `CaseStudExam` als Objekt der Klasse `Instance` spezifiziert ist. Das Attribut dient grundsätzlich der Repräsentation der Bezeichnung eines Moduls bzw. einer Klausur. Statt diese als einfaches String-Objekt zu realisieren, wird die Bezeichnung im Rahmen der Instanziierung eines Objekts der Klasse `Instance` durch das jCOLIBRI Framework auf ein (entsprechend der Bezeichnung benanntes) Individuum einer Ontologie abgebildet. Hieraus resultieren Vorteile hinsichtlich der Ähnlichkeitsbestimmung zwischen zwei Objekten der Klasse `CaseStudExam` sowie zur Anpassung der Lösungen von Solved Cases, auf die in den Kapiteln 6.3.3.3 und 6.3.3.6 näher eingegangen wird.

Die Klasse `CaseSolution` weist gegenüber der im Konzept definierten Klasse zur Repräsentation der Lösung eines Falls, mithin der Prognose eines individuellen Studienverlaufs, zusätzliche einfache Attribute auf. Diese dienen der Abbildung von Prognosebezogenen Metadaten (z. B. `runDate` zur Abbildung des Zeitpunkts der Prognoseerstellung) sowie zur Abbildung von Zusatzinformationen hinsichtlich des mit der Prognose erreichten Studienfortschritts (z. B. `programFin` zur Abbildung, ob eine Prognose vollständig (vgl. Kapitel 5.2.2.6) ist). Wie im Konzept vorgesehen haben alle Attribute eines Objekts der Klasse `CaseSolution` vor der Ausführung des angepassten, erweiterten CBR-cycle den Wert `NULL`. Objekte der Klassen `CaseStudHistory` und `CaseStudExam` können im Rahmen der dynamischen Reorganisation von Previous Cases der Lösung zugeordnet werden, indem eine Referenz auf sie in den `HashSet`-Objekten `solHist` bzw. `solSems` eines Objekts der Klasse `CaseSolution` gespeichert wird. Die Attribute `solHist` und `solSems` stellen insofern Äquivalente der relationalen At-

⁷⁴ Fraglos sind für alle Teilnehmer einer Modulprüfung Kapazitäten (auch) im Hinblick auf andere Komponenten eines Moduls vorzuhalten, um die Studierbarkeit sicherzustellen. Daher wird der engen Sichtweise im weiteren Verlauf der Arbeit nur bedingt gefolgt. Vielmehr basiert die Umsetzung des Konzepts auf der Annahme, dass Studierende, die an einer Modulprüfung teilnehmen, im gleichen Semester auch andere Komponenten des entsprechenden Moduls besuchen. Dieser Annahme folgend werden die Prüfungsteilnahme und die Teilnahme an anderen Modulkomponenten gleichgesetzt, so dass die gewählte Repräsentationsform auch zur Prognose der Teilnahme an Modulkomponenten wie Vorlesungen oder Übungen verwendet werden kann.

tribute studienverlauf und fachsemester der im Konzept spezifizierten Klasse Loesung (vgl. Kapitel 5.2.1.1) dar.

6.3.2.2 Ontologiebasierte Repräsentation generellen Wissens

Die deklarative Abbildung generellen Wissens über die durch den Prototypen adressierten Studiengänge und deren Komponenten (z. B. Module, Gruppen ähnlicher Module, etc.) erfolgt – wie im Konzept vorgesehen (vgl. Kapitel 5.2.2.7) – mittels einer Ontologie.

Im Mittelpunkt des in Abbildung 6-10 dargestellten Ausschnitts⁷⁵ der in der Ontologiesprache OWL realisierten Ontologie steht die Klasse `Module`. Sie dient der Abbildung von Wissen über Module der adressierten Studiengänge. Sämtliche Bezeichnungen, unter denen Module eines Studiengangs angeboten werden oder wurden, sind als Individuen dieser Klasse gespeichert.

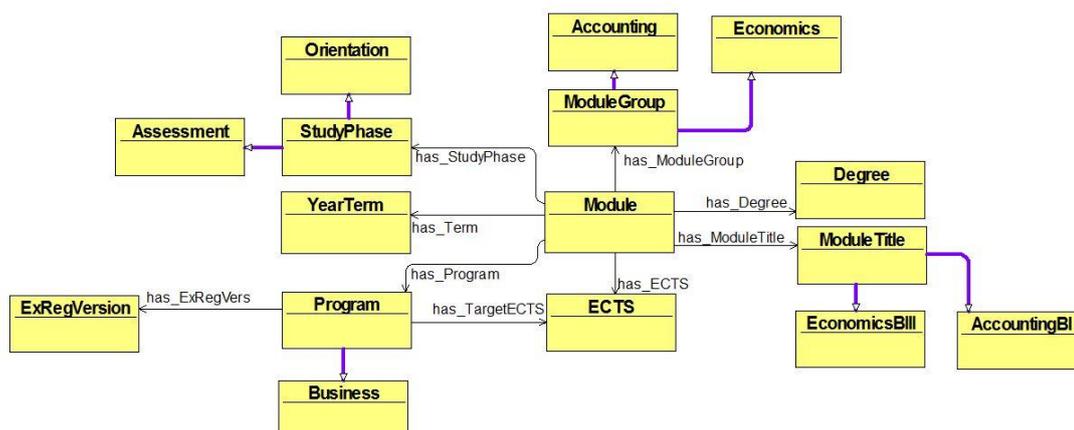


Abbildung 6-10: Zentrale Klassen der realisierten OWL-Ontologie zur Repräsentation generellen Wissens

Quelle: Eigene Darstellung

Durch die Definition von Relationen zwischen Individuen der Klasse `Module` und Individuen anderer Klassen wird Wissen hinsichtlich der Eigenschaften eines Moduls, bspw. hinsichtlich dessen Verwendung in verschiedenen Studiengängen (Relation `has_Program`), hinsichtlich seiner Zuordnung zu einer Studienphase (Relation `has_StudyPhase`) oder hinsichtlich der Zuordnung zu einer Gruppe ähnlicher Module (Relation `has_ModuleGroup`) abgebildet. Dies sei an der Relation

⁷⁵ Die realisierte Ontologie umfasst insgesamt 218 Klassen und 421 Individuen, sie repräsentiert damit Wissen über 76 Module der Studiengänge Wirtschaftswissenschaft und Accounting and Management der Universität Osnabrück. Aus Gründen der Übersichtlichkeit beschränken sich die Ausführungen dieses Kapitels auf die zentralen Klassen und Relationen. Die vollständige Ontologie steht dem interessierten Leser unter <http://www.wirtschaftsinformatik.uni-osnabrueck.de/BScWiWi.owl> zum Download bereit.

`has_ModuleTitle` näher erörtert: Zu jedem Modul, das in einer für die adressierten Studiengänge gültigen Prüfungsordnung genannt wird, existiert eine Subklasse der Klasse `ModuleTitle` (z. B. `AccountingBI`). Mithilfe der Relation `has_ModuleTitle` zwischen Individuen der Klasse `Module` und solchen der Subklassen der Klasse `ModuleTitle` kann verschiedenen Modulbezeichnungen eindeutig ein gemeinsamer Modulidentifizier zugewiesen werden. Beispielsweise kann sowohl für ein Individuum `Accounting_B_I` als auch für ein Individuum `Accounting_B_I_Betriebliches_Rechnungswesen` (verschiedene Modulbezeichnungen) der Klasse `Module` eine Relation `has_ModuleTitle` zu ein und demselben Individuum `ACCI` (eindeutiger Modulidentifizier) der Klasse `AccountingBI` definiert werden. Damit wird die in Kapitel 5.2.2.7 vorgesehene Möglichkeit zur Definition von Äquivalenzbeziehungen zwischen Modulen bzw. unterschiedlichen Modulbezeichnungen umgesetzt.

Neben den Relationen, die von der Klasse `Module` bzw. deren Individuen ausgehen, sind ausschließlich für die Klasse `Program` Relationen definiert. Einem Individuum der Klasse `Program` wird mittels der Relation `has_ExRegVers` genau ein Individuum der Klasse `ExRegVersion` zugewiesen; damit wird die Zuordnung einer Prüfungsordnungsversion zu einem Studiengang abgebildet. Die Erstellung einer neuen Prüfungsordnungsversion für einen Studiengang ist folglich in der Ontologie durch Hinzufügen eines Individuums der Klasse `Program`, eines Individuums der Klasse `ExRegVersion` sowie einer Relation `has_exRegVers` zwischen beiden Individuen abzubilden. Die Repräsentation der Einführung einer neuen Prüfungsordnungsversion gleicht damit der Abbildung eines neuen Studiengangs. Hierdurch wird die Repräsentation zwischen Prüfungsordnungsversionen divergierender Modulbezeichnungen vereinfacht: Ein Individuum der Klasse `Module` kann über die Relation `has_Program` mit genau einem Individuum (die Modulbezeichnung gilt nur in einem Studiengang bzw. in einer Prüfungsordnungsversion) oder mehreren Individuen (die Modulbezeichnung gilt in mehreren Studiengängen bzw. in mehreren Prüfungsordnungsversionen eines Studiengangs) der Klasse `Program` in Beziehung stehen.

6.3.3 Realisierung des angepassten und erweiterten CBR-cycles

6.3.3.1 Initialize

Der Subprozess Initialize fokussiert den Aufbau bzw. die Aktualisierung einer Fallbasis zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung (vgl. Kapitel 5.2.2.2). Das Framework jCOLIBRI gibt zur Verwaltung von Fällen eine Zwei-Schichten-Architektur vor. Die erste Schicht (im Folgenden Persistenzschicht) dient der persistenten Speicherung von Fällen in Form von Daten, z. B. in einer relationalen Datenbank oder in flachen Textdateien (vgl. Recio García, 2008, S. 13 ff.). Zur Laufzeit eines mit jCOLIBRI realisierten CBR-Systems werden Fälle über definierte Schnittstellen, sogenannte Connectors, aus der Persistenzschicht in die zweite Schicht, den Hauptspeicher, geladen (vgl. Recio García, 2008, S. 13 ff.). Auf Basis der in den Hauptspeicher geladenen Daten werden Objekte der Klasse `CBRCASE`, mithin Previous Cases, instanziiert. Die Bereitstellung dieser Objekte erfolgt durch ein Objekt einer beliebigen Klasse, die das Interface `CBRCASEBase` implementiert und im Wesentlichen ein Collection-Objekt mit Referenzen auf Objekte der Klasse `CBRCASE` enthält. Das Objekt dieser Klasse stellt in jCOLIBRI die Fallbasis dar.

Die Ausrichtung des Prototyps an dieser Architektur hat eine Zweiteilung des implementierten Subprozesses Initialize in einen Schritt zum Beladen der Persistenzschicht sowie einen Schritt zur Initialisierung der Fallbasis im Hauptspeicher zur Folge.

Für die Persistenzschicht wurde ein Schema in einer Oracle Datenbank erzeugt, in dem die Speicherung von Fällen in den in Abbildung 6-11 dargestellten Tabellen erfolgt. Um dem Problem des Object-relational Impedance Mismatch⁷⁶ zu begegnen, ist das Datenmodell eng an das Domänenmodell zur objektorientierten Repräsentation von Fällen (vgl. Kapitel 6.3.2.1) angelehnt. Denormalisierung und Redundanzen⁷⁷ werden zugunsten einer komfortablen Transformation der Daten in Objekte bewusst in Kauf genommen. Zu jeder Klasse des Domänenmodells existiert eine Tabelle im Datenmodell und entsprechend der Kompositionsbeziehungen zwischen Objekten einzelner Klassen des Domänenmodells spezifiziert das Domänenmodell Primär-Fremdschlüssel-Beziehungen zwischen Tabellen.

⁷⁶ Unter dem Begriff Object-relational Impedance Mismatch werden die Probleme zusammengefasst, die bei der Verwendung objektorientierter Programmiersprachen in Verbindung mit in einer relationalen Datenbank gespeicherten Daten aufgrund von Unterschieden der jeweils zugrundeliegenden Paradigmen auftreten (vgl. Ireland, Bowers, Newton, & Waugh, 2009, S. 202 ff.).

⁷⁷ Bspw. werden in den Spalten DEGREE und PROGRAM der Tabelle DESCHIST die Bezeichnungen von Abschlüssen und Studiengängen redundant gespeichert.

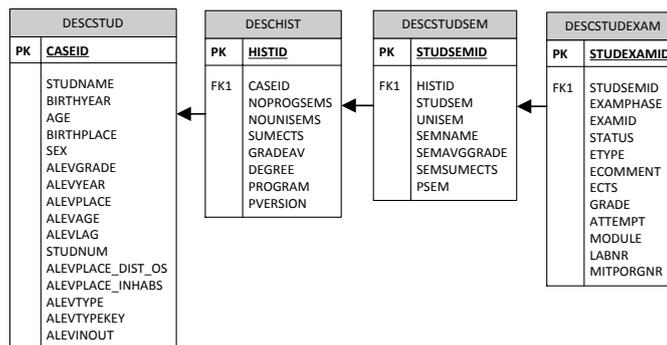


Abbildung 6-11: Datenmodell der Persistenzschicht

Quelle: Eigene Darstellung

Die Persistenzschicht wird im **ersten Schritt** des Subprozesses Initialize beladen. Dazu erfolgt die Extraktion von personen- und klausur- bzw. modulbezogenen Daten aus der Datenhaltungsschicht des an der Universität Osnabrück eingesetzten CMS HIS-GX bzw. dessen Modulen SOS (Studierenden-Management), POS (Prüfungen) und ZUL (Zulassung und Studium). Aus Gründen des Datenschutzes und der Datensicherheit ist die Datenextraktion nicht durch einen direkten Zugriff auf Datenbanktabellen der HIS-GX-Module realisiert. Vielmehr wird von einem Administrator durch manuelle Datenbankabfragen ein Flatfile mit maskierten Studierenden- und Prüfungsdaten⁷⁸ erzeugt. Dieses Flatfile stellt die Datenquelle mehrerer mit dem Werkzeug Informatica PowerCenter realisierter ETL-Prozesse (Mappings) dar. Mithilfe der Mappings werden Daten aus dem Flatfile extrahiert und in das Datenmodell der Persistenzschicht transformiert. Ferner erfolgen Berechnungen abgeleiteter Attribute wie SUMECTS oder GRADEAV sowie Anreicherungen der Quelldaten um Geodaten zur Berechnung z. B. der Attribute ALEVPLACE_DIST_OS (Entfernung des Orts des Erwerbs der HZB und Osnabrück in km) oder ALEVPLACE_INHABS (Einwohnerzahl des Orts des Erwerbs der HZB). Ziel der Mappings ist jeweils eine Tabelle der Persistenzschicht. Die Ausführung der Mappings wird durch den Workflow LoadAll gesteuert, der mit dem Aufruf der Methode `startWfCmdLoadAll()` aus der Klasse CBRApp heraus angestoßen wird. Im Gegensatz zu der im Konzept vorgesehenen Aktualisierung der zum Zeitpunkt der Ausführung des Subprozesses Initialize in einer Fallbasis – im Kontext von jCOLIBRI in der Persistenzschicht – bereitgestellten Previous Cases, die eine inkrementelle Extraktionsstrategie nahelegt, erfolgt aus Gründen der Komplexitätsreduktion bei jedem Aufruf dieser Methode eine vollständige Extraktion der im Flatfile vorliegenden Daten. Nach Abschluss des Workflows liegt in der Persistenzschicht für alle

⁷⁸ Maskiert, d. h. verschlüsselt, sind z. B. die Matrikelnummer und der Name von Studierenden.

Alumni und Studierenden ein Datensatz, mithin ein in Form von Daten und Relationen repräsentierter Fall, vor. Dabei wird ein Fall eindeutig identifiziert durch das Attribut `CASEID` der Tabelle `DESCSTUD`, also durch die Matrikelnummer des Studierenden, der durch den Fall repräsentiert wird. Die Persistenzschicht kann damit grundsätzlich als Fallbasis interpretiert werden.

Im **zweiten Schritt** des realisierten Subprozesses `Initialize` erfolgt zunächst die Instanziierung eines Objekts `_caseBase` der durch das Framework `jCOLIBRI` bereitgestellten Klasse `LinealCaseBase`. Dieses Objekt stellt nach dem Abschluss des Subprozesses die Fallbasis dar, die in den folgenden Subprozessen zur Lösung von Query Cases benötigten Previous Cases bereitstellt. Die Bereitstellung erfolgt durch das Collection-Objekt `cases`, in dem Referenzen auf Objekte gespeichert sind. Durch den Aufruf der Methode `_caseBase.init(_connector)` aus der Klasse `CBRApp` heraus erfolgt die Initialisierung der Fallbasis. Das als Parameter übergebene Objekt `_connector` ist ein durch `jCOLIBRI` bereitgestellter Connector für relationale Datenbanken – ein Objekt der Klasse `DataBaseConnector`. Die Methode `retrieveAllCases()` dieser Klasse sorgt mithilfe des Object-Relational-Mapping (ORM)-Frameworks `Hibernate` für die Instanziierung je eines Objekts der Klasse `CBRCase`, mithin eines Previous Case, aus jedem Datensatz der Persistenzschicht. Wie im Konzept vorgesehen (vgl. Kapitel 5.2.1.3) erfolgt im realisierten Subprozess `Initialize` die Abbildung individueller Erfahrungen ausschließlich durch die Beschreibung eines Previous Case, d. h. durch ein Objekt der Klasse `CaseStudent`, welches von einem Objekt `CBRCase` referenziert wird (vgl. Kapitel 6.3.2.1). Um ein solches Objekt zu instanziiieren und die Attribute mit den in der Persistenzschicht gespeicherten Werten zu belegen, greift der Connector – je nach der durch den Entscheidungsträger über die Benutzerschnittstelle getroffenen Auswahl – auf ein Mapping File (`CaseStudent.hbm.xml`, `CaseStudentTestSet.hbm.xml` oder `CaseStudentWiWi.hbm.xml`) zu. Jedes dieser Mapping Files stellt eine Spezialisierung des `jCOLIBRI` Frameworks dar: Ein Mapping File beschreibt die Abbildung von Tabellenspalten und Primär- Fremdschlüsselbeziehungen aus der Persistenzschicht auf einfache und relationale Attribute von Objekten der Klasse `CaseStudent` sowie auf Objekte, in die Objekte der Klasse `CaseStudent` zerlegt sind (vgl. Kapitel 6.3.2.1). Mapping Files stellen damit die Grundlage zur Erstellung einer anwendungsspezifischen Fallbasis im Hauptspeicher dar. Referenzen auf die mithilfe des Connectors instanziierten Objekte der Klasse `CBRCase` werden im Collection-Objekt `cases` des Objekts `_caseBase` gespeichert. Die für die Durchfüh-

nung der folgenden Subprozesse benötigte Fallbasis liegt damit in Form einer (unsortierten) Liste von Referenzen auf Objekte der Klasse `CBRCASE` vor.

6.3.3.2 Identify

Für die automatisierte Erkennung zu lösender Prognoseprobleme sowie die Erzeugung von Query Cases ist die Methode `generateQuery(Collection<CBRCASE> cases)` der Klasse `QueryBase` verantwortlich. Sie wird nach Abschluss des Subprozesses `Initialize` aus der Klasse `CBRApp` heraus aufgerufen, wobei ihr das im Rahmen des Subprozesses `Initialize` instanziierte `Collection`-Objekt `cases` – die Fallbasis – als Parameter übergeben wird. Eine explizite Unterscheidung der im Konzept dargestellten ersten beiden Schritte des Subprozesses (vgl. Kapitel 5.2.2.3) erfolgt in der prototypischen Umsetzung nicht. Vielmehr sind beide Schritte durch eine verschachtelte Kontrollstruktur realisiert: Für jedes durch das Objekt `cases` referenzierte Objekt der Klasse `CBRCASE` (für jeden `Previous Case`) erfolgt in einer Schleife zunächst die Identifikation des der Beschreibung zugeordneten Objekts der Klasse `CaseStudHistory`, das den Studiengang mit dem höchsten Abschluss repräsentiert, in dem der repräsentierte Studierende zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung t immatrikuliert ist. Ausschließlich für dieses Objekt wird überprüft, ob es einen Studiengang repräsentiert, den der Studierende bis t nicht abgeschlossen hat.⁷⁹ Die für diese Überprüfung konzipierte, abstrakte Regel (vgl. Kapitel 5.2.2.3) ist durch eine IF-THEN-Verzweigung realisiert. Die Kontextualisierung der IF-Anweisung erfolgt mittels einer SPARQL Protocol And RDF Query Language (SPARQL)-Abfrage gegen die Ontologie. Die Abfrage wird mit den Werten der Attribute `program` und `exRegVersion` des zuvor identifizierten Objekts der Klasse `CaseStudHistory` parametrisiert. Ergebnis der Abfrage ist die Zielpunktzahl, die in der Ontologie (vgl. Kapitel 6.3.2.2) mithilfe der Relation `has_TargetECTS` für ein Individuum der Klasse `Program` spezifiziert wurde, dessen Name dem Wert des Attributs `program` gleicht und das in einer Beziehung (`has_ExRegVers`) mit einem Individuum der Klasse `ExRegVers` steht, dessen Name dem Wert des Attributs `exRegVersion` gleicht. Ist die Zielpunktzahl größer als der Wert des Attributs `sumECTS` des betrachteten Objekts der Klasse `CaseStudHistory`

⁷⁹ Durch die Beschränkung auf das Objekt, das den Studiengang mit dem höchsten Abschluss repräsentiert, erfolgt eine Einschränkung gegenüber dem Konzept des Subprozesses `Identify`. Weist ein `Previous Case` mehrere Objekte der Klasse `CaseStudHistory` auf, die nicht abgeschlossene Studiengänge repräsentieren, erfolgt zur Komplexitätsreduktion nur die Identifikation des nicht abgeschlossenen Studiengangs mit dem höchsten Abschluss als Prognoseproblem. Nur für diesen Studiengang wird im weiteren Verlauf des angepassten, erweiterten CBR-cycle eine Prognose der Modulbelegungen erstellt.

ry, gilt der durch dieses Objekt repräsentierte Studiengang als nicht abgeschlossen. Das identifizierte Objekt ist damit Teil eines Previous Case, der ein potenzielles Prognoseproblem darstellt. Infolgedessen wird die THEN-Anweisung der IF-THEN-Verzweigung ausgeführt. Diese beinhaltet eine zweite, einfache IF-THEN-Verzweigung, die den im Konzept vorgesehenen zweiten Schritt des Subprozesses Identify, die Prüfung ob ein Studierender einen Studiengang in einem auf t folgenden Semester fortsetzen wird (vgl. Kapitel 5.2.2.3), realisiert: Für das Objekt der Klasse `CaseStudHistory`, das den als nicht abgeschlossen identifizierten Studiengang repräsentiert, wird mit der IF-Anweisung geprüft, ob das zugehörige `HashSet`-Objekt `studSemester` ein Objekt der Klasse `CaseStudSemester` referenziert, das einen der Zeitabschnitte (eines der Fachsemester) t , $t - 1$ oder $t - 2$ repräsentiert. Ist diese Bedingung erfüllt, wird ein Objekt der Klasse `CBRQuery` instanziiert und dessen Attribut `description` mit einer tiefen Kopie des zu dem untersuchten Previous Case gehörenden Objekts der Klasse `CaseStudent` initialisiert. Eine Referenz auf den damit vorliegenden Query Case wird anschließend in der durch das Collection-Objekt `queryBase` realisierten Query Base gespeichert. Am Ende der Überprüfung aller Previous Cases beinhaltet dieses Collection-Objekt Referenzen auf alle erzeugten Query Cases. Damit liegt eine Menge zu lösender Query Cases in einer Query Base vor, die wie die Fallbasis eine Listenstruktur aufweist.

Der im Konzept vorgesehene dritte Schritt des Subprozesses Identify, die Prognose von Neueinschreibungen je Studiengang für jedes zwischen t und dem Prognosehorizont $t + n$ liegende Semester sowie die Generierung einer entsprechenden Anzahl an Dummy Cases (vgl. Kapitel 5.2.2.3), ist im Prototyp getrennt vom Aufbau der Query Base realisiert. Dieser Schritt wird erst nach der iterativen Lösung aller in der Query Base liegenden Query Cases, d. h. im Anschluss an die iterative Ausführung der Subprozesse Retrieve, Reuse, Repeat und OR-Revise, durchgeführt. Denn eine ex-ante Festlegung des für diesen Schritt benötigten Prognosehorizonts ist – wie in Kapitel 5.2.2.6 erläutert wurde – nicht möglich, vielmehr ist dieser je Query Case bzw. je zur Lösung wiederverwendetem Previous Case unterschiedlich und nur ex-post bestimmbar, mithin frühestens im Anschluss an den Sub-

prozess OR-Revise.⁸⁰ Das Vorgehen zur Prognose von Neueinschreibungen und zur Generierung von Dummy Cases wird in Kapitel 6.3.3.7 detailliert erörtert.

Die im Folgenden diskutierten Subprozesse Retrieve bis einschließlich OR-Revise werden iterativ für jeden in der Query Base vorliegenden Query Case durchgeführt. Die Iteration ist durch eine for-Schleife über alle vom Collection-Objekt `queryBase` referenzierten Objekte realisiert. Wird in den Kapiteln 6.3.3.3 bis 6.3.3.6 von der Durchführung dieser Subprozesse gesprochen, ist daher stets die iterative Durchführung für alle Query Cases gemeint.

6.3.3.3 Retrieve

Im Gegensatz zum Konzept unterscheidet der realisierte Subprozess Retrieve explizit nur drei Schritte. Die Auswahl grundsätzlich zur Lösung eines Query Case geeigneter Previous Cases (Schritt eins des konzipierten Subprozesses) sowie die dynamische Reorganisation von Fallkomponenten geeigneter Previous Cases im Kontext eines Query Case (Schritt zwei des konzipierten Subprozesses) sind nicht explizit getrennt, sondern als aufeinander folgende bzw. einander bedingende Zweige einer verschachtelten Kontrollstruktur, die alle durch das Collection-Objekt `cases` referenzierten Objekte (alle Previous Cases) iterativ durchlaufen, in der Methode `generateDSPCaseBase()` der Klasse `DynamicCaseBase` zu **einem ersten Schritt** zusammengefasst.

In diesem ersten Schritt erfolgt zunächst die *Bestimmung des DSP* auf Basis des zu lösenden Query Case. Den Ausgangspunkt dieser Bestimmung bildet die Identifikation des Objekts der Klasse `CaseStudHistory`, das den Studiengang mit dem höchsten Abschluss repräsentiert, in den der auf den Query Case abgebildete Studierende zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung, mithin der Ausführung des CBR-cycle, immatrikuliert ist. Die Werte der Attribute `degree` und `noProgsems` dieses Objekts, die den mit einem Studiengang verfolgten Abschluss bzw. das bis zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung erreichte Fachsemester repräsentieren, dienen – wie im Konzept vorgesehen – als DSP.

⁸⁰ Alternativen zur getrennten Realisierung stellen die Implementierung einer Möglichkeit zur Festlegung des notwendigen Prognosehorizonts durch den Entscheidungsträger über die Benutzerschnittstelle oder die Ableitung des Prognosehorizonts aus der Ebene des hochschulinternen Planungssystems, der ein Entscheidungsträger angehört, dar. Auf die Realisierung dieser Alternativen wurde verzichtet, da hieraus weitreichende Auswirkungen auf nachfolgende Subprozesse resultierten. Insbesondere könnte der Subprozess Repeat nicht mehr als optionaler Subprozess implementiert werden, sondern müsste obligatorisch durchgeführt werden, um die Erreichung eines gewählten oder abgeleiteten Prognosehorizonts für jeden zu lösenden Fall sicherzustellen.

Der ermittelte DSP wird im Prototypen nicht nur zur Reorganisation von Fallkomponenten, sondern auch zur Überprüfung der zwei in Kapitel 5.2.2.4 genannten Bedingungen genutzt, die zur Lösung eines Query Case grundsätzlich geeignete Previous Cases erfüllen müssen (Schritt eins des konzipierten Subprozesses Retrieve). Hierzu wurden zwei verschachtelte IF-THEN-Verzweigungen implementiert. Die IF-Anweisung der ersten Verzweigung dient der Prüfung der ersten in Kapitel 5.2.2.4 erläuterten Einschränkung der Menge an zur Lösung eines Query Case geeigneten Previous Cases: Ist der Wert des Attributs `program` eines zu einem Previous Case gehörenden Objekts der Klasse `CaseStudHistory` gleich dem Wert des entsprechenden Attributs des Objekts, auf dessen Basis der DSP bestimmt wurde, dann repräsentiert der Previous Case einen Studierenden oder Alumni des Studiengangs, in den der durch den Query Case repräsentierte Studierende zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung immatrikuliert ist. Mittels einer in den THEN-Teil der Verzweigung geschachtelten zweiten IF-THEN-Verzweigung wird die zweite in Kapitel 5.2.2.4 erläuterte Einschränkung der Menge an Previous Cases realisiert. In der IF-Anweisung der Verzweigung wird geprüft, ob der Wert des Attributs `noProgSems` des Objekts der Klasse `CaseStudHistory` größer ist als der Wert des entsprechenden Attributs des Query Case. Ist diese Bedingung erfüllt, repräsentiert der Previous Case einen Studierenden oder Alumni, der zum Zeitpunkt der Ausführung des CBR-cycle im gleichen Studiengang ein höheres Fachsemester beendet hat als der durch den Query Case repräsentierte Studierende. Sind die Bedingungen beider IF-THEN-Verzweigungen erfüllt, gilt der Previous Case konzeptgemäß als grundsätzlich zur Lösung des Query Case geeignet.

Die auf die IF-THEN-Verzweigungen folgenden Schritte des Kontrollflusses der Methode `generateDSPCaseBase()` realisieren den zweiten Schritt des konzipierten Subprozesses, die dynamische Reorganisation der Komponenten Beschreibung und Lösung von Previous Cases. Sie setzen das in Kapitel 5.2.2.4 erläuterte Konzept der Auflösung bestehender Kompositionsbeziehungen bzw. des Aufbaus neuer Kompositionsbeziehungen sowie der Neuberechnung abgeleiteter Fallattribute um. Zunächst erfolgt die Instanziierung eines Objekts `solution` der Klasse `CaseSolution`, um entsprechend des DSP Objekts der Klassen `CaseStudHistory` und/oder `CaseStudSemester` eines Previous Case einer Lösung zuordnen zu können. Zur Sicherstellung der Nachvollziehbarkeit der hinsichtlich der Zuordnung von Komponenten eines Previous Case vorgenommenen Anpassungen an den Kontext eines Query Case wird ein Objekt `reorganizedCase` der Klasse `CBRCASE` (ein neuer Fall) instanziiert, das initial mit einer (flachen) Kopie des

Objekts `CaseStudent` des Previous Case und einem leeren `HashSet`-Objekt `studHistory` initialisiert wird. Letzterem werden im Rahmen der dynamischen Reorganisation Referenzen auf tiefe Kopien von Komponenten sowie reorganisierte Komponenten des Previous Case zugewiesen, die im Kontext des Query Case der Beschreibung zuzuordnen sind. Referenzen auf tiefe Kopien der Lösung zuzuordnender Komponenten eines Previous Case werden in den `HashSet`-Objekten `solHist` und/oder `solSems` des Objekts `solution` gespeichert. Eine Referenz auf dieses Objekt wird im relationalen Attribut `solution` des Objekts `reorganizedCase` gespeichert. Nach der dynamischen Reorganisation liegt damit ein zusätzliches Objekt der Klasse `CBRCCase` vor, so dass die Möglichkeit zum *Vergleich des originalen mit dem reorganisierten Previous Case besteht*.

Die Reorganisation ist innerhalb einer Schleife umgesetzt, in der – entsprechend des in Kapitel 5.2.2.4 dargestellten Konzepts – für jedes zu einem Previous Case gehörende Objekt der Klasse `CaseStudHistory` geprüft wird, ob der Wert des Attributs `degree` größer, kleiner oder gleich dem Wert des entsprechenden Attributs des DSP ist:

- Ist der Wert größer, wird eine tiefe Kopie des betrachteten Objekts der Klasse `CaseStudHistory` erzeugt und eine Referenz auf diese Kopie im `HashSet`-Objekt `solHist` des Objekts `solution` gespeichert – der repräsentierte Studienverlauf wird wie im Konzept vorgesehen vollständig der Lösung zugeordnet und steht für die Erstellung von Prognosen zur Verfügung.
- Ist der Wert kleiner, wird eine tiefe Kopie des betrachteten Objekts der Klasse `CaseStudHistory` erzeugt und eine Referenz darauf in dem `HashSet`-Objekt `studHistory` des zum reorganisierten Previous Case gehörenden Objekts der Klasse `CaseStudent` gespeichert. Der repräsentierte Studienverlauf wird damit der Beschreibung zugeordnet und steht für die Ähnlichkeitsbestimmung zur Verfügung.
- Sind beide Werte – und damit die Abschlüsse – gleich, müssen die durch das `HashSet`-Objekt `studSemester` des betrachteten Objekts der Klasse `CaseStudHistory` referenzierten Objekte der Klasse `CaseStudSemester` teilweise der Beschreibung, teilweise der Lösung zugeordnet werden. Hierzu dient ein Vergleich des Attributs `progSem` eines Objekts der Klasse `CaseStudSemester` mit dem Attribut `noProgSems` des DSP. Zunächst erfolgt die Instanziierung eines Objekts `dynDescHist` als flache Kopie des betrachteten Objekts der Klasse `CaseStudHistory` mit einem leeren `HashSet`-Objekt `studSemester`. In letz-

terem werden im Folgenden Referenzen auf tiefe Kopien von Objekten der Klasse `CaseStudSemester` gespeichert, für die $(\text{progSem} \leq \text{noProgSems})$ gilt. Anschließend erfolgt auf Basis der Attribute `progSem`, `uniSem`, `sumEctsSem` und `gradeAverageSem` der referenzierten Objekte eine Neuberechnung der Attribute `noProgSems`, `noUniSems`, `sumECTS` und `gradeAverage` des Objekts `dynDescHist`. Referenzen auf tiefe Kopien von Objekten der Klasse `CaseStudSemester`, für die $(\text{progSem} > \text{noProgSems})$ gilt, werden im `HashSet`-Objekt `solSems` des Objekts `solution` gespeichert. Diese Objekte stehen damit wie im Konzept vorgesehen für die Erstellung von Prognosen zur Verfügung.

Am Ende der Schleife über alle Objekte der Klasse `CaseStudHistory` eines `Previous Case` liegt mit dem Objekt `reorganizedCase` ein reorganisierter `Previous Case` vor. Eine Referenz auf dieses Objekt wird in einem `Collection`-Objekt `dynamicCaseBase` gespeichert. Da alle `Previous Cases` die beschriebene Kontrollstruktur iterativ durchlaufen, enthält dieses `Collection`-Objekt nach Ausführung der Methode `generateDSPCaseBase()` Referenzen auf alle für die Lösung eines `Query Case` geeigneten, reorganisierten `Previous Cases`.

Die Ähnlichkeitsbestimmung zwischen einem `Query Case` und den vom `Collection`-Objekt `dynamicCaseBase` referenzierten, reorganisierten `Previous Cases` erfolgt im **zweiten Schritt** des realisierten Subprozesses `Retrieve`. Er wird durch Aufruf der Methode `evaluateSimilarity4StudentCases(...)` aus der Klasse `CBRAApp` heraus angestoßen. Da Methoden zur Bestimmung der Ähnlichkeit nach dem rekursiven Lokal-Global Prinzip (vgl. Kapitel 4.2.2.4) bzw. dem angepassten Lokal-Global Prinzip (vgl. Kapitel 5.2.2.4) für Domänenmodelle mit tiefen Zerlegungshierarchien und relationalen Attributen mit Kardinalitäten größer eins durch das Framework `jCOLIBRI` nicht angeboten werden, sind diese in der Klasse `StudentGlobalSimilarityFunction` als Erweiterungen des Methoden-Spektrums des Frameworks realisiert. Die Methode `computeClassicStudSim(...)` dieser Klasse setzt das rekursive Lokal-Global Prinzip um, während das angepasste Lokal-Global Prinzip in der Methode `computeRefinedStudSim(...)` implementiert ist. Je nach der durch einen Entscheidungsträger über die Benutzerschnittstelle vorgenommenen Konfiguration wird eine dieser Methoden *iterativ für jeden reorganisierten Previous Case* aufgerufen. `Query Case`, ein reorganisierter `Previous Case`, Gewichte für relationale Attribute bzw. für aggregierte lokale Objektähnlichkeiten

(vgl. Kapitel 5.2.2.4) sowie lokale Ähnlichkeitsmaße und Gewichte je einfachem Attribut sind beiden Methoden als Parameter zu übergeben. Dabei sind sämtliche Gewichte flexibel über die Benutzerschnittstelle anpassbar, während die je einfachem Attribut zu verwendenden Ähnlichkeitsmaße pragmatisch aus dem von jCOLIBRI bereitgestellten Spektrum ausgewählt und in der Klasse `Similarity` statisch festgelegt sind. Eine Übersicht der lokalen Ähnlichkeitsmaße je Attribut bietet Anhang I. Beide Methoden stützen sich im Wesentlichen auf ein von jCOLIBRI bereitgestelltes Konzept zur Berechnung lokaler Ähnlichkeiten, wenden dies iterativ zur Bestimmung der Ähnlichkeit zwischen Attributen äquivalenter Objekte (vgl. Kapitel 5.2.2.4) von Query und Previous Case an und aggregieren die lokalen Ähnlichkeiten entsprechend der in den Kapiteln 4.2.2.4 bzw. 5.2.2.4 dargestellten Verfahren zu einer globalen Objektähnlichkeit. Das Ergebnis der Ähnlichkeitsberechnung zwischen einem Query Case und einem reorganisierten Previous Case ist entsprechend der Vorgaben des jCOLIBRI Frameworks ein Objekt der Klasse `RetrievalResult`. Dieses besteht im Wesentlichen aus einem relationalen Attribut `case`, das eine Referenz auf den reorganisierten Previous Case enthält, und einem einfachen Attribut `eval`, das die zwischen dem Previous Case und dem Query Case ermittelte globale Objektähnlichkeit als Gleitkommazahl enthält. Alle aus der Iteration dieses zweiten Schritts über alle reorganisierten Previous Cases resultierenden Objekte der Klasse `RetrievalResult` werden von einem Collection-Objekt `casesSim` referenziert und sind noch nicht wie im Konzept vorgesehen absteigend nach dem Wert des Objekts `eval` – ihrer Ähnlichkeit – sortiert.

Die Aufstellung dieser Ordnung unter den Objekten der Klasse `RetrievalResult`, d. h. der Präferenzrelation über alle Previous Cases (vgl. Kapitel 5.2.2.4), ist in den **dritten Schritt** des realisierten Subprozesses Retrieve, die Auswahl eines Retrieved Case zur Lösung des Query Case, integriert. Zuständig für diesen Schritt ist die Methode `selectMultiAttributeBasedK(...)` der Klasse `SelectCases`. Die im Konzept vorgesehene, auf den Kriterien „Ähnlichkeit“ und „realisierbarer Prognosehorizont“ basierende Präferenzrelation (vgl. Kapitel 5.2.2.4) wird in dieser Methode durch Sortieren eines als Parameter übergebenen Collection-Objekts `casesSim`, d. h. der im vorigen Schritt erstellten Liste an Referenzen auf Objekte der Klasse `RetrievalResult`, erzeugt. Dabei sorgt ein sogenanntes `ComparatorChain`-Objekt dafür, dass die von `casesSim` referenzierten Objekte der Klasse `RetrievalResult` zuerst nach den Werten ihrer Attribute `eval` und anschließend nach der Anzahl an Objekten der Klasse `CaseStu-`

dSemester, die der Lösung der referenzierten Previous Cases angehören, sortiert werden. Entsprechend des Konzepts wird das Objekt der Klasse RetrievalResult ausgewählt, das den höchsten Rang in der resultierenden Präferenzrelation einnimmt. Mit dem relationalen Attribut case dieses Objekts liegt ein Retrieved Case vor. Der Wert des Attributs eval wird zusammen mit anderen prognosebezogenen Metadaten zu Auswertungszwecken vorgehalten.

6.3.3.4 Reuse

Die Wiederverwendung des Lösungsteils eines Retrieved Case zur Lösung der durch einen Query Case repräsentierten Problemstellung, die im Konzept als Erstellung einer Prognose des Studienverlaufs eines Studierenden interpretiert und dem Subprozess Reuse zugeordnet wird, ist im Prototypen durch zwei Methoden realisiert. Zunächst erfolgt durch die Methode combineWithRetrievalResult4Students(...), die eine Erweiterung der von jCOLIBRI bereitgestellten Klasse CombineQueryAndCasesMethod darstellt und aus der Klasse CBRApp aufgerufen wird, die Instanziierung eines Objekts solvedCase der Klasse CBRCase. Dem Attribut description dieses Objekts wird eine tiefe Kopie eines Query Case und dem Attribut solution eine tiefe Kopie der Lösung des im vorigen Subprozess ausgewählten Retrieved Case zugewiesen. Das Objekt solvedCase stellt damit einen Solved Case dar, dessen Beschreibung dem Query Case entspricht und dessen Lösung durch einen *direkten Transfer der Lösung des Retrieved Case* (vgl. Kapitel 4.2.3) erstellt wurde. Für die im Konzept vorgesehene Adaption der Lösung (vgl. Kapitel 5.2.2.5) ist die Klasse CorrectSemesterReuse verantwortlich. Die Methode ensureSemesterSequence() dieser Klasse modifiziert die Attribute description und psem der zur Lösung eines Solved Case gehörenden Objekte der Klasse CaseStudentSemester, um die Lösung – wie im Konzept vorgesehen – an den zeitlichen Kontext des Query Case anzupassen. Mit der modifizierten Lösung des Solved Case liegt im Anschluss an die Ausführung dieser Methode eine Prognose des Studienverlaufs des Studierenden vor, der durch den Query Case repräsentiert wird.

6.3.3.5 Repeat

Der in Kapitel 5.2.2.6 konzipierte, optionale Subprozess Repeat wurde durch eine Kontrollstruktur in der Klasse CBRApp realisiert, aus der verschiedene Methoden zur Überprüfung der Vollständigkeit einer in den vorigen Subprozessen erstellten Prognose, zur Instan-

ziierung eines Virtual Query Case sowie zur Iteration der Subprozesse Retrieve und Reuse aufgerufen werden.

Die Überprüfung der Vollständigkeit einer Prognose – der erste Schritt des konzipierten Subprozesses Repeat – basiert im Prototypen nicht ausschließlich auf der in Kapitel 5.2.2.6 erläuterten, durch einen Abruf generellen Wissens aus der Ontologie kontextualisierten Regel. Vielmehr wird durch das aus Kapitel 6.3.3.2 bekannte Verfahren zum Abruf der Zielpunktzahl eines Studiengangs aus der Ontologie nur ein Vorgabewert bereitgestellt, den der Entscheidungsträger über die Benutzerschnittstelle (vgl. Abbildung 6-4) anpassen kann. Die Prüfung auf Vollständigkeit erfolgt in der IF-Anweisung einer IF-THEN-Verzweigung auf Basis des (angepassten) Vorgabewerts. Liegt eine unvollständige Prognose vor, wird entsprechend des zweiten Schritts des konzipierten Subprozesses ein Objekt `virtualQuery` der Klasse `CBRQuery` – ein Virtual Query Case – instanziiert. Das Konzept der Integration von Beschreibung und Lösung eines Solved Case wurde in der Methode `createVirtCase(...)` der Klasse `VirtualCase` realisiert. Dieser Methode wird ein Objekt `solvedCase` – der im vorigen Subprozess erstellte Solved Case – als Parameter übergeben. Eine tiefe Kopie des Attributs `description` dieses Objekts dient als initiale Beschreibung des Virtual Query Case. Zur Integration der Lösung erfolgt zunächst die Erstellung tiefer Kopien der zur Lösung des Solved Case gehörenden Objekte der Klasse `CaseStudSemester` (derjenigen Objekte, die vom relationalen Attribut `solSems` des zum Solved Case gehörenden Objekts der Klasse `Solution` referenziert werden). Referenzen auf diese Kopien werden anschließend im Collection-Objekt `studSemester` des Objekts der Klasse `CaseStudHistory` gespeichert, das in der Beschreibung des Virtual Query Case (in der tiefen Kopie des Objekts `description`) den Studiengang mit dem höchsten Abschluss repräsentiert. Anschließend erfolgt die Neuberechnung der Attribute `noProgSems`, `noUniSems`, `gradeAverage` und `sumECTS` dieses Objekts der Klasse `CaseStudHistory` auf Basis der Werte der Attribute aller von `studSemester` referenzierten Objekte. Der damit vorliegende Virtual Query Case wird entsprechend des dritten Schritts des konzipierten Subprozesses durch eine Iteration der Subprozesse Retrieve und Reuse gelöst – ein Iterated Solved Case mit einem gegenüber dem Solved Case größeren Prognosehorizont wird erstellt. Dabei erfolgt durch die Methode `combineWithInitialQuery(...)` der Klasse `VirtualCase` bereits bei der Iteration des Subprozesses Reuse die im vierten Schritt des konzipierten Subprozesses Repeat (vgl. Kapitel 5.2.2.6) vorgesehene Reorganisation der Fallkomponenten des Itera-

ted Solved Case. Der Subprozess ist beendet, wenn der Iterated Solved Case eine vollständige Prognose eines Studienverlaufs umfasst oder eine durch den Entscheidungsträger über die Benutzerschnittstelle spezifizierte Anzahl an Iterationen (vgl. Abbildung 6-4) erreicht wurde.

6.3.3.6 OR-Revise

Zur Realisierung des Subprozesses OR-Revise wurde mithilfe des Frameworks JBoss Drools Expert ein RBR-System in seinen Grundzügen entwickelt und in die CBR-Komponente integriert. Die Ausführung des Subprozesses wird durch einen Methodenauf-ruf aus der Klasse CBRApp heraus angestoßen, der sich unmittelbar an den vorausgehenden Subprozess Reuse bzw. Repeat anschließt, um dessen Ergebnis, mithin einen (Iterated) Solved Case, gegen die Realwelt zu evaluieren und ggf. zu modifizieren.

Da beliebige Objekte, die dem JavaBeans-Modell folgen, durch JBoss Drools Expert als Fakten interpretiert werden können, ist die im Konzept vorgesehene Beladung der Faktenbasis mit einem im Rahmen der Subprozesse Reuse bzw. Repeat erstellten (Iterated) Solved Case trivial: Die dem JavaBeans-Modell folgenden Objekte der Klassen CaseStudent bzw. CaseSolution, aus denen die Beschreibung bzw. die Lösung des (Iterated) Solved Case bestehen, werden zur Laufzeit des Subprozesses OR-Revise durch die Methode `reason()` der Klasse `RBRevision` dem Working memory des RBR-Systems hinzugefügt.

Die Repräsentation des zur Durchführung dieses Subprozesses benötigten generellen Wissens erfolgt ebenfalls wie im Konzept vorgesehen in Form von Regeln sowie mithilfe der in Kapitel 6.3.2.2 diskutierten Ontologie.

Zur Abbildung der Anforderungen an ein ordnungsgemäßes Studium, die in den Prüfungsordnungen der beiden vom Prototypen adressierten Studiengänge dokumentiert sind, wurden insgesamt 23 beispielhafte Regeln in der Drools-nativen Regelsprache spezifiziert. Um die Regelbasis entlang der vom Prototypen adressierten Studiengänge zu strukturieren, sind die Regeln auf zwei DRL-Dateien aufgeteilt. Die Datei `BscWiwi.drl` umfasst zwölf Regeln, die aus der Prüfungsordnung des Bachelorstudiengangs Wirtschaftswissenschaft abgeleitet wurden; elf aus der Prüfungsordnung des Masterstudiengangs Accounting and Management abgeleitete Regeln liegen in der Datei `MscAccMan20102.drl` vor. Wie die Faktenbasis wird auch die Regelbasis des implementierten RBR-Systems zur Laufzeit des Subprozesses OR-Revise beladen: In Abhängigkeit vom Studiengang, für den die Lösung

des zu evaluierenden (Iterated) Solved Case eine Prognose der Modulbelegungen bereitstellt, werden der Regelbasis durch die Methode `reason()` der Klasse `RBRevision` entweder die in der Datei `BscWiwi.drl` oder die in der Datei `MscAccMan20102.drl` bereitgestellten Regeln hinzugefügt.

Die Ausführung der im Konzept vorgesehenen Schritte der Regel-Kontextualisierung, des Matchings sowie der Adaption der Lösung eines (Iterated) Solved Case wird im Anschluss an die Beladung von Fakten- und Regelbasis durch den Aufruf der Methode `session.fireAllRules()` aus der Methode `reason()` angestoßen. Die einzelnen Schritte seien am Beispiel der in Abbildung 6-12 dargestellten Regel „Module passed with other exam title“ aus der Datei `BscWiwi.drl` erläutert.

```

1 rule "Module passed with other exam title"
2   ruleflow-group "check duplicates"
3   when
4     exam: CaseStudExam($module: module, status=="BE" || (status=="AN" && comment!="KR"))
5     $solution: CaseSolution()
6     $solSem: CaseStudSemester() from $solution.solSems
7     solExam: CaseStudExam($exModule: module) from $solSem.exams
8     eval(RBRevision.checkExNames($module).toString().contains($exModule.toString()))
9   then
10    RBRevision.findAlternative($exModule);
11    update($solution);
12 end

```

Abbildung 6-12: Regel zur Abbildung von Wissen aus einer Prüfungsordnung

Quelle: Eigene Darstellung

Die Regel repräsentiert gemeinsam mit den Regeln „Module passed with same exam title“ und „Module passed in solution“ das in § 9 Absatz 2 der Prüfungsordnung für den Bachelorstudiengang Wirtschaftswissenschaft der Universität Osnabrück vom 22.04.2008 dokumentierte Wissen, dass die „Wiederholung oder Nachbesserung einer bestandenen Modulprüfung [...] nicht zulässig“ (o.V., 2008 § 9 Abs. 2) ist.

Der When-Zweig der Regel (die Prämisse, Zeilen 3-8 in Abbildung 6-12) dient der Überprüfung, ob ein zum Lösungsteil eines (Iterated) Solved Case gehörendes Objekt ein Modul repräsentiert, das der durch den Fall repräsentierte Studierende bereits vor dem Zeitpunkt der Prognoseerstellung bestanden hat – mithin ein Modul, das durch ein zur Beschreibung des (Iterated) Solved Case gehörendes Objekt repräsentiert wird. Im Rahmen des Matching erfolgt die Anpassung des When-Zweigs an den Kontext des zu überprüfenden (Iterated) Solved Case (Regel-Kontextualisierung, vgl. Kapitel 5.2.2.7). Dazu wird zunächst die Variable `$module` mit dem Wert des Attributs `module` eines in der Faktenbasis vorgehaltenen und zur Beschreibung des (Iterated) Solved Case gehörenden Objekts der Klasse `CaseStudExam` – d. h. mit der Bezeichnung eines Moduls (vgl. Kapitel

6.3.2.1) – belegt (Zeile 4 in Abbildung 6-12). Ferner erfolgt die Belegung einer Variable `$exModule` mit dem Wert des Attributs `module` eines ebenfalls in der Faktenbasis vorgehaltenen aber zur Lösung des (Iterated) Solved Case gehörenden Objekts der Klasse `CaseStudExam` (Zeilen 5-7 in Abbildung 6-12). Eine Integration von Wissen aus der Ontologie findet mithilfe der Anweisung in der achten Zeile statt, durch die die Methode `checkExNames(Instance module)` der Klasse `RBRevision` aufgerufen wird. Dabei erfolgt die Übergabe der Variable `$module` als Parameter. Die Methode stößt eine SPARQL-Abfrage gegen die Ontologie an, die den String-Wert aller derjenigen Individuen der Klasse `Module` (vgl. Kapitel 6.3.2.2) zurückgibt, die in einer Relation `has_ModuleTitle` zum Individuum einer Subklasse der Klasse `ModuleTitle` stehen, zu dem auch das mit der als Parameter übergebenen Modulbezeichnung (Variable `$module`) gleichnamige Individuum eine Relation aufweist. D. h. das Wissen aus der Ontologie wird genutzt, um eine Liste der verschiedenen Modulbezeichnungen zu erzeugen, unter denen das durch die Anweisung der vierten Zeile der Regel identifizierte Modul angeboten wird oder wurde. Die Prämisse der Regel ist erfüllt, wenn diese Liste den Wert der Variable `$exModule` beinhaltet, mithin die Bezeichnung eines durch ein zur Lösung des (Iterated) Solved Case gehörendes Objekt repräsentierten Moduls.

Feuert die Regel, erfolgt im Rahmen der Ausführung des When-Zweigs (der Konklusion, Zeilen 9-11 in Abbildung 6-12) wie im Konzept vorgesehen die Adaption der Lösung des (Iterated) Solved Case. Hierzu erfolgt ein Aufruf der Methode `findAlternative(Instance solutionExamTitle)` der Klasse `RBRevision`. Die Variable `$exModule`, d. h. die Bezeichnung des in der Lösung des (Iterated) Solved Case identifizierten Moduls, das bereits vor dem Zeitpunkt der Prognoseerstellung bestanden wurde, wird dabei als Parameter übergeben (Zeile 10 in Abbildung 6-12). Die Methode stößt zunächst eine SPARQL-Abfrage gegen die Ontologie an, deren Ergebnis eine Liste von Bezeichnungen alternativer Module⁸¹ zu dem Modul ist, dessen Bezeichnung als Parameter übergeben wurde. Durch die anschließend aufgerufene Methode `replaceBy(...)` der Klasse `RBRevision` erfolgt die Ersetzung des zur Lösung des (Iterated) Solved Case

⁸¹ Zwei Module werden als einander alternative Module interpretiert, wenn die zur Abbildung der Module in der Ontologie (vgl. Kapitel 6.3.2.2) spezifizierten Individuen der Klasse `Module` Relationen zu demselben Individuum der Klasse `Degree` sowie zu denselben Individuen von Subklassen der Klassen `Program`, `YearTerm`, `StudyPhase` und `ModuleGroup` aufweisen. D. h. Module sind Alternativen zueinander, wenn sie im Curriculum desselben Studiengangs verankert sind, im selben Turnus (z. B. im Wintersemester) angeboten werden und sie demselben Studienabschnitt (z. B. Orientierungsphase) und derselben Modulgruppe (z. B. Accounting) zugeordnet werden.

gehörenden Objekts der Klasse `CaseStudExam`. Letzteres wird ersetzt durch ein Objekt, dessen Attribut `module` mit einem Wert aus der zuvor auf Basis der Ontologie erstellten Liste von Modulbezeichnungen belegt ist, der keinem Wert eines Attributs `module` der zum (Iterated) Solved Case gehörenden Objekte der Klasse `CaseStudExam` entspricht. Das bereits bestandene Modul wird damit durch ein alternatives, noch nicht bestandenes Modul ersetzt. Im letzten Schritt der Konklusion (Zeile 11 in Abbildung 6-12) werden die vorgenommenen Anpassungen an der Lösung des (Iterated) Solved Case als Fakten in das Working memory des RBR-Systems fortgeschrieben und ein erneutes Matching wird angestoßen.

Der Subprozess ist beendet, wenn keine Regel (mehr) feuert. Im Resultat liegt mit einem Objekt der Klasse `CBRCASE` ein Repaired Case vor, dessen Lösungsteil eine im Hinblick auf die abgebildeten Anforderungen einer relevanten Prüfungsordnung valide Prognose von Modulbelegungen darstellt. Eine Referenz auf dieses Objekt wird in einem Collection-Objekt `repairedCases` gespeichert, das nach der Iteration der Subprozesse Retrieve bis OR-Revise über alle in der Query Base vorliegenden Query Cases zu jedem Query Case einen Repaired Case bereitstellt.

6.3.3.7 Generate and Solve Dummy Cases

Da im Rahmen des realisierten Subprozesses Identify aufgrund der fehlenden Möglichkeit zur ex-ante Bestimmung des Prognosehorizonts auf die Erzeugung von Dummy Cases verzichtet wurde (vgl. Kapitel 6.3.3.2), erfolgt diese in einem das Konzept ergänzenden Subprozess Generate and Solve Dummy Cases. Dieser dient der Identifikation von (zu erwartenden) Prognoseproblemen und stellt damit inhaltlich einen Teil des Subprozesses Identify dar (vgl. Kapitel 5.2.2.3), der aufgrund von Design-Entscheidungen im Prototypen als zusätzlicher Subprozess realisiert wurde (vgl. Kapitel 6.3.3.2).

Im Anschluss an die Durchführung des Subprozesses OR-Revise liegt mit dem Collection-Objekt `repairedCases` eine Menge an Referenzen auf Repaired Cases vor, deren Lösungsteile valide Prognosen von individuellen Studienverläufen einzelner, durch im Subprozess Identify erstellte Query Cases repräsentierter Studierender darstellen. Sie sind als Lösung zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung real existierender Prognoseprobleme zu interpretieren. Auf Basis der Lösungen der von `repairedCases` referenzierten Repaired Cases wird in der Methode `postCycle(...)` der Klasse `CBRAApp` zunächst der Prognosehorizont ermittelt. Dieser stellt die Grundlage für die im Konzept geforderte Prognose

von Neueinschreibungen je Studiengang und Semester sowie für die Erzeugung von Dummy Cases (vgl. Kapitel 5.2.2.3) dar, die durch Methoden der Klassen `ProgramEnrollmentForecaster` und `FreshmenCaseGenerator` realisiert sind.

Durch die Methode `determineProgramEnrolmentChances()` der Klasse `FreshmenCaseGenerator` werden diejenigen zwischen dem Zeitpunkt der Prognoseerstellung und dem Prognosehorizont liegenden Semester bestimmt, in denen eine Möglichkeit zur Neueinschreibung von Studierenden besteht.⁸² Die Prognose der Anzahl an Neueinschreibungen für jedes dieser Semester erfolgt im Anschluss durch die Methode `movingAverageProgramEnrollmentForecast(...)` der Klasse `ProgramEnrollmentForecaster`. Diese realisiert die Prognosemethode des gleitenden Durchschnitts: Die Zahl an Neueinschreibungen in einem Studiengang wird für ein auf den Zeitpunkt der Prognoseerstellung folgendes WS bestimmt als arithmetisches Mittel der Anzahl an Neueinschreibungen in n vorausgehenden WS. Die hierfür notwendigen Zeitreihen an Neueinschreibungen je Studiengang für n WS bezieht die Methode über eine Java Database Connectivity (JDBC)-Verbindung aus den Spalten PSEM (Semester) und ENROLLMENTS (Anzahl der Neueinschreibungen) der in Abbildung 6-13 dargestellten Datenbanktabelle.⁸³ Die Spalten PROGRAM und DEGREE dienen der Identifizierung des Studiengangs, für den eine Zeitreihe gilt.

ENROLLMENTDATA	
PK	PSEM
PK	PROGRAM
	DEGREE ENROLLMENTS

Abbildung 6-13: Bereitstellung von Zeitreihendaten für die Prognose von Neueinschreibungen

Quelle: Eigene Darstellung

Entsprechend der je Studiengang prognostizierten Anzahl an Neueinschreibungen für jedes zwischen dem Zeitpunkt der Prognoseerstellung und dem Prognosehorizont liegende WS wird mittels der Methode `generateFreshmen(...)` der Klasse `FreshmenCaseGenerator` eine Menge an Dummy Cases generiert, d. h. eine entsprechende Anzahl an

⁸² Der Ermittlung liegt die aus der Ordnung über besondere Zugangsvoraussetzungen für den Bachelorstudiengang Wirtschaftswissenschaften der Universität Osnabrück abgeleitete Annahme zugrunde, dass Neueinschreibungen ausschließlich im Wintersemester möglich sind.

⁸³ Ein automatisiertes, durch ETL-Prozesse realisiertes Beladen der Tabellen mit Daten aus HIS-Modulen oder einem hochschulweiten DWH ist grundsätzlich möglich. Aus Gründen der Komplexitätsreduktion und vor dem Hintergrund, dass der Prototyp am Beispiel von nur zwei Studiengängen implementiert wurde, wird die Tabelle manuell gepflegt.

Objekten der Klasse `CBRQuery` wird instanziiert. Dabei erfolgt zur Reduktion des Implementierungsaufwands die Belegung der Attribute der Klasse `CaseStudent` nicht wie im Konzept vorgesehen mit Durchschnittswerten, sondern mit Zufallswerten. Ferner wird im Gegensatz zum Konzept und unter der Annahme, dass Erstsemesterstudierende an allen Modulen des ersten Fachsemesters teilnehmen⁸⁴, durch die Instanziierung von Objekten der Klassen `CaseStudHistory`, `CaseStudSemester` und `CaseStudExam` je Dummy Case ein Studienverlauf generiert, der Modulbelegungen des ersten Fachsemesters umfasst. Diese Abweichung vom Konzept zielt auf eine möglichst genaue, auch Objekte der Klassen `CaseStudSemester` und `CaseStudExam` berücksichtigende Ähnlichkeitsberechnung im Subprozess `Retrieve`. Die Bezeichnungen im ersten Semester eines Studiengangs zu belegender Module sowie die Zahl mit dem Bestehen eines Moduls in einem Studiengang zu erwerbender ECTS werden dabei mittels einer SPARQL-Abfrage gegen die Ontologie identifiziert. Das Ergebnis dieser Abfrage dient der Wertbelegung der Attribute `modul` und `ects` von Objekten der Klasse `CaseStudExam`, Attribute wie `grade` oder `status` werden mit Zufallswerten belegt. Da die Prognose von Neueinschreibungen sowie die Erzeugung von Dummy Cases im Prototypen getrennt vom Subprozess `Identify` realisiert sind, erfolgt keine Speicherung von Dummy Cases in der Query Base. Vielmehr werden Referenzen auf die generierten Objekte der Klasse `CBRQuery` in einem Collection-Objekt `dummyCases` gespeichert. Die Prognose des Studienverlaufs je Dummy Case ist konzeptgemäß durch eine iterative Ausführung der Subprozesse `Retrieve` bis `OR-Revise` realisiert, die als `for`-Schleife über alle von `dummyCases` referenzierten Objekte implementiert wurde. Am Ende dieser Schleife liegt mit dem aus den Ausführungen des vorigen Kapitels bekannten Objekt `repairedCases` eine Menge an Referenzen auf `Repaired Cases` vor, die Prognosen der Modulbelegung sowohl für zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung real existierende Prognoseprobleme (im Subprozess `Identify` erzeugte `Query Cases`) als auch für zu erwartende Prognoseprobleme (im Subprozess `Generate and Solve Dummy Cases` erzeugte `Dummy Cases`) enthalten.

6.3.3.8 Save

Zur Realisierung der im Konzept des Subprozesses `Save` vorgesehenen Serialisierung von `Repaired Cases` und prognosebezogenen Metadaten in der sogenannten `Prediction Base`,

⁸⁴ Die Annahme leitet sich aus § 7 der Prüfungsordnung für den Bachelorstudiengang Wirtschaftswissenschaft der Universität Osnabrück vom 22.04.2008 ab, in dem festgelegt wird, dass Studierende grundsätzlich von Amts wegen zu den Prüfungen der ersten Fachsemester angemeldet werden (vgl. o.V., 2008 § 7).

mithin in einer gegenüber der Fallbasis autarken Datenbank, wird wie schon im Subprozess Initialize auf den durch jCOLIBRI bereitgestellten Connector für relationale Datenbanken – ein Objekt der Klasse `DataBaseConnector` – zurückgegriffen. Zur Serialisierung von Repaired Cases stellt diese Klasse die Methode `storeCases(...)` zur Verfügung. Da eine Speicherung prognosebezogener Metadaten von jCOLIBRI nicht vorgesehen ist, wurde auf Basis der bereitgestellten Methode eine Erweiterung des Frameworks vorgenommen: Der Methode `storeCasesAndConfig(...)` der Klasse `DataBaseConnector` werden das aus dem Subprozess Generate and Solve Dummy Cases resultierende Collection-Objekt `repairedCases` sowie ein Objekt `cycleConfiguration` der Klasse `CycleConfiguration` übergeben, das prognoseorientierte Metadaten beinhaltet. Die Methode sorgt mithilfe des ORM-Frameworks Hibernate unter Rückgriff auf die Mapping Files `Solution.hbm.xml` und `Configuration.hbm.xml` für die Serialisierung aller von `repairedCases` referenzierter Objekte sowie des Objekts `cycleConfiguration` in einer relationalen Datenbank – der Prediction Base. Um die geforderte Unabhängigkeit von Fallbasis und Prediction Base (vgl. Kapitel 5.2.2.8) auf Datenbankebene sicherzustellen, wurde in der Oracle Datenbank zusätzlich zu dem Schema für die Persistenzschicht (vgl. Kapitel 6.3.3.1) ein zweites Schema mit dem in Abbildung 6-14 dargestellten Datenmodell angelegt. Das Datenmodell ist eng angelehnt an das Domänenmodell zur objektorientierten Repräsentation von Fällen (vgl. Kapitel 6.3.2.1), mithin an die Struktur der von `repairedCases` referenzierten Objekte. Ähnlich dem Subprozess Initialize wird hierdurch dem Problem des Object-relational Impedance Mismatch begegnet.

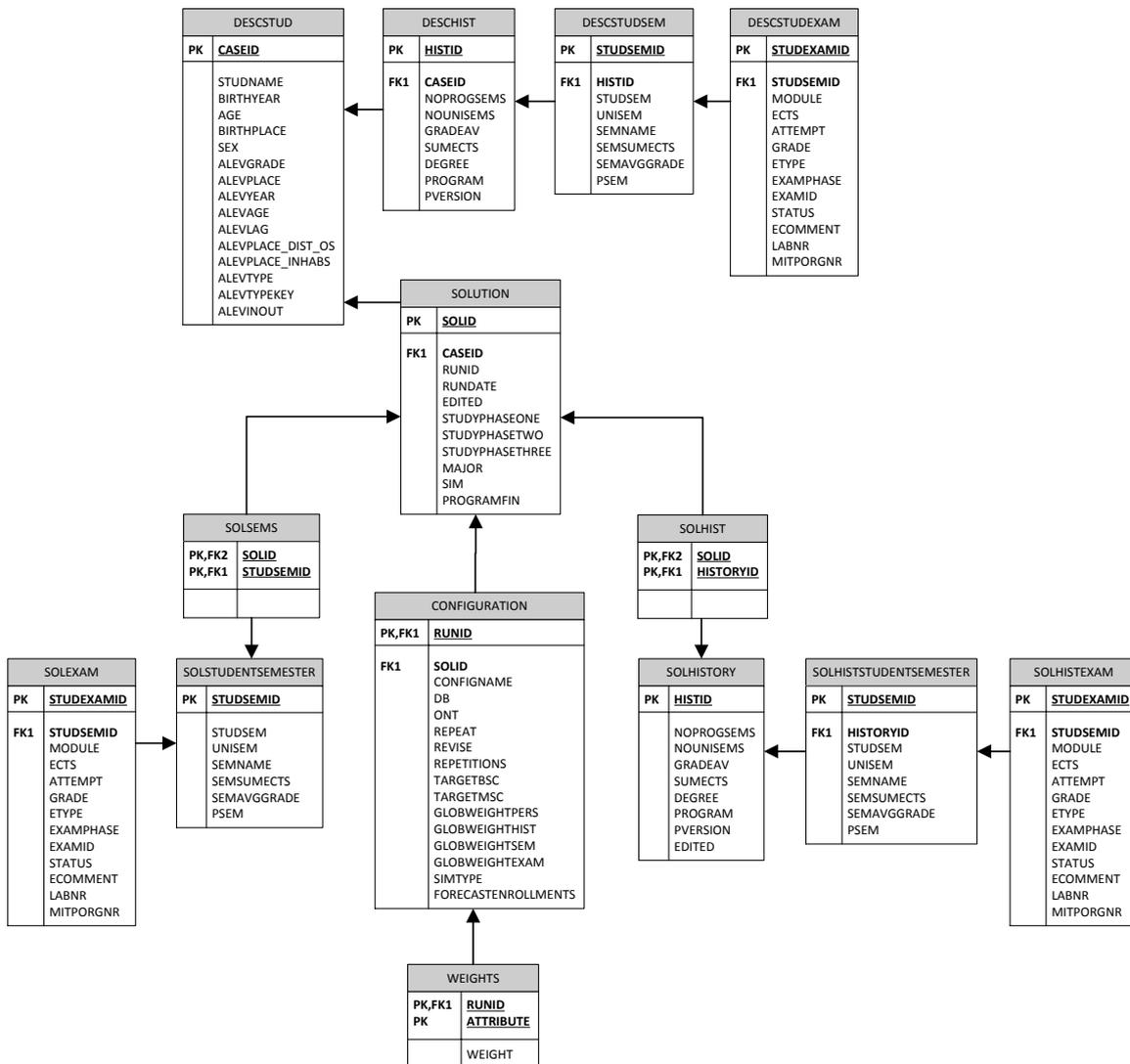


Abbildung 6-14: Datenmodell der Prediction Base

Quelle: Eigene Darstellung

Zu beachten ist bei der Serialisierung, dass der Lösung eines Repaired Case zugeordnete – von den Collection-Objekten solHist und solSems eines Objekts der Klasse Solution referenzierte – Objekte der Klassen CaseStudHistory und CaseStudSemester tiefe Kopien von ggf. modifizierten Objekten eines Previous Case sind. Diese Objekte eines Previous Case können – je nach Ergebnis der Ähnlichkeitsberechnung im Subprozess Retrieve – für die Lösung mehrerer Query oder Dummy Cases herangezogen werden. Ferner kann ein Objekt der Klasse Solution jeweils mehrere Objekte der Klasse CaseStudHistory und CaseStudSemester referenzieren – eine Prognose kann aus Modulbelegungen mehrerer Semester z. B. eines Bachelorstudiengangs sowie aus Modulbelegungen in mehreren Semestern verschiedener Masterstudiengängen bestehen. Folglich liegen n:m Beziehungen zwischen Objekten der Klasse Solution und Objekten der

Klassen `CaseStudHistory` bzw. `CaseStudSemester` vor, die in der relationalen Datenbank mithilfe der zusätzlichen Tabellen `SOLSEMS` und `SOLHIST` abgebildet werden müssen.

Nach Abschluss des realisierten Subprozesses `Save` liegt in der `Prediction Base` für jeden `Repaired Case` auch ein Datensatz in der Tabelle `SOLUTION` vor, der über das Attribut `RUNID` der Tabelle `SOLUTION` eindeutig einem Prognoselauf zugeordnet werden kann. Zu jedem Prognoselauf werden in den Tabellen `CONFIGURATION` und `WEIGHTS` prognosebezogene Metadaten wie z. B. die Gewichtung einzelner Attribute im Ähnlichkeitsmaß oder die im Subprozess `Repeat` verwendeten Zielpunktzahlen vorgehalten. Ferner ist eine erstellte Prognose, mithin die serialisierte Lösung eines `Repaired Case`, über das Attribut `DESCMATRIKEL` der Tabelle `Solution`, dessen Wert die Matrikelnummer eines Studierenden ist und damit dem Wert des Attributs `CASEID` eines `Repaired Case` gleicht, eindeutig einem Studierenden zuzuordnen.

6.3.3.9 ISP-Revise

Da die gesamte CBR-Komponente Teil einer Web-Anwendung ist, deren Architektur dem MVC Muster folgt (vgl. Kapitel 6.2; 6.3.1), ist zur Realisierung des Subprozesses `ISP-Revise` die Integration von Views, Controller- und Modell-Klassen in diese Architektur erforderlich. Die Implementierung basiert im Kern auf einer Entwicklungsarbeit, die im Rahmen einer Bachelorarbeit⁸⁵ durchgeführt und im Rahmen der vorliegenden Arbeit erweitert wurde. Als Views fungieren die JSF-Seiten `index.xhtml` und `indexUser.xhtml`. Die Klassen `loginBean` und `dragDropListeners` im Package `managedBeans` sind der Controller-Komponente der Web-Anwendung zuzuordnen und die Klassen `DescExams`, `DescHistories`, `descStudent`, `PredictedExams`, `SolExams`, `SolExamsRecord` sowie `SummaryHistory` aus dem Package `dataTables` ordnen sich in die Modell-Komponente ein.

Der Subprozess wird – wie im Konzept vorgesehen (vgl. Kapitel 5.2.2.9) – zeitasynchron zu den vorausgehenden Subprozessen durch einen Studierenden initiiert, indem dieser über einen Web-Browser die aus Kapitel 6.2 bekannte JSF-Seite `index.xhtml` (View) auf-

⁸⁵ Die unveröffentlichte Arbeit wurde von Herrn David Zumstrull, M.Sc. am 13.09.2012 am Fachgebiet Management Support und Wirtschaftsinformatik des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der Universität Osnabrück vorgelegt und trägt den Titel *Konzeption und prototypische Implementierung einer mehrbenutzerfähigen Adaptionsphase für ein fallbasiertes Entscheidungsunterstützungssystem*.

ruft. Nach erfolgreicher Authentifikation des Studierenden erfolgt eine Weiterleitung auf die in Abbildung 6-15 dargestellte JSF-Seite `indexUser.xhtml`.

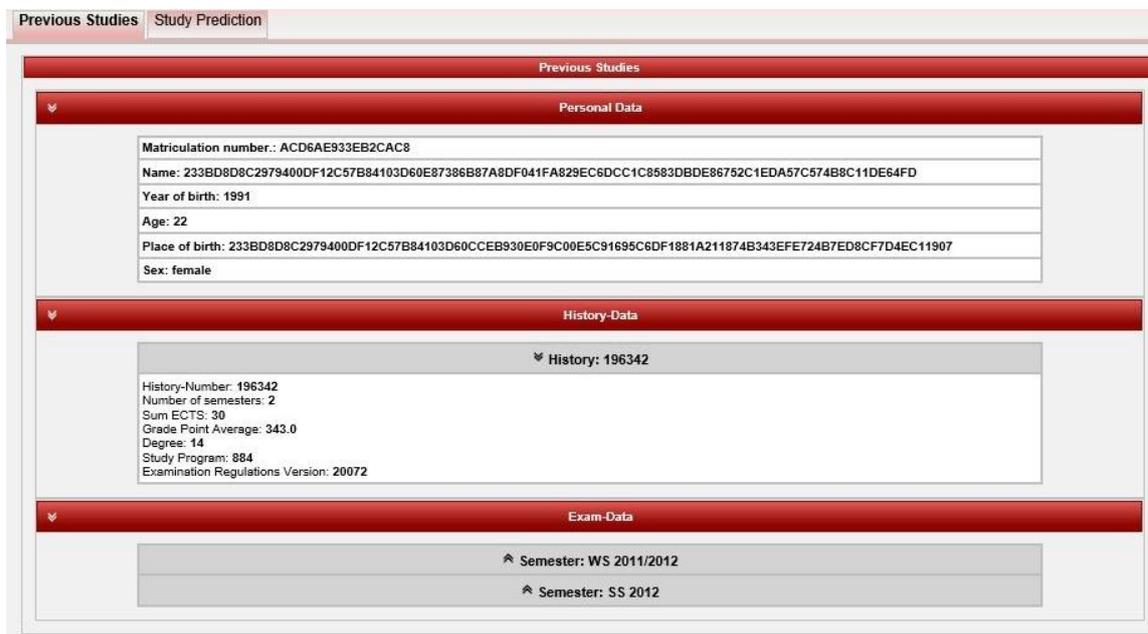


Abbildung 6-15: Visualisierung personenbezogener Daten und realisierter Studienleistungen

Quelle: Eigene Darstellung

Die Seite ist mithilfe der JBoss RichFaces Komponente `tabPanel` grundsätzlich in die zwei Karteikartenreiter „Previous Studies“ und „Study Prediction“ unterteilt. Standardmäßig ist der Reiter „Previous Studies“ ausgewählt. Er dient der Visualisierung personenbezogener Daten sowie Daten hinsichtlich realisierter Studienleistungen eines authentifizierten Studierenden. Die zu visualisierenden Daten werden im Rahmen der Erzeugung der Seite mithilfe der Methoden `getStudentPersonalData()`, `getHistoryReport()` und `getExamReport()` der Klasse `loginBean` unter Einsatz des ORM-Frameworks `Hibernate` aus der `Prediction Base` geladen und auf ein Objekt der Klasse `CaseStudent` abgebildet (deserialisiert). Zu Visualisierungszwecken erfolgt die Bereitstellung dieses Objekts in Form von Objekten der Klassen `descStudent`, `DescHistories` und `DescExams`, d. h. Klassen der Modellkomponente der Webanwendung, die im Wesentlichen Listen von Objektreferenzen enthalten, auf die JSF Komponenten über Methoden der Controller-Klasse `loginBean` zugreifen können. Durch die Kombination von JBoss RichFaces Komponenten wie `collapsiblePanel` oder `dataTable` mit klassischen JSF Komponenten erfolgt eine überblicksartige Präsentation der bereitgestellten Daten in Listenform, und dem Studierenden werden Ajax-Funktionalitäten zur Erweiterung bzw. zum Ausblenden einzelner Listenabschnitte (z. B. einzelner Semester) geboten. Zusammenfas-

send ist durch das Zusammenspiel dieses Bereichs der JSF-Seite mit den zugehörigen Controller- und Modell-Klassen der im Konzept vorgesehene lesende Zugriff auf die Beschreibung eines in der Datenbank serialisierten Repaired Case realisiert, der den authentifizierten Studierenden repräsentiert.

Der vorgesehene schreibende Zugriff auf den Lösungsteil eines serialisierten Repaired Case, d. h. auf die Prognose des Studienverlaufs eines authentifizierten Studierenden, ist durch das Zusammenspiel des in Abbildung 6-16 dargestellten Reiters „Study Prediction“ mit den für diesen Reiter zuständigen Controller- und Modell-Klassen realisiert.

Abbildung 6-16: Visualisierung prognostizierter Modulbelegung je Semester

Quelle: Eigene Darstellung

Bei dem Aufruf dieses Reiters wird der Studierende zunächst aufgefordert, über das Ausklappmenü im oberen Drittel der Seite einen Prognoselauf auszuwählen und die Auswahl mit der Schaltfläche „Select solution“ zu bestätigen. Über die Methode `selectedSolution()` der Klasse `loginBean` wird daraufhin eine mittels des ORM-Frameworks Hibernate realisierte Abfrage gegen die Prediction Base angestoßen, die die prognostizierten Modulbelegungen, d. h. die Lösungsdaten des Repaired Case, der den authentifizierten Studierenden repräsentiert und im Rahmen des ausgewählten Prognoselaufs erzeugt und serialisiert wurde, zurückliefert. Diese Daten werden auf ein Objekt der Klasse `CaseSolution` abgebildet (deserialisiert). Referenzen auf die zu diesem Objekt gehörenden Objekte der Klasse `CaseStudExam` sind zu Visualisierungszwecken je Semester in einem

Collection-Objekt eines Objekts der Klasse `SolExamsRecord` gespeichert, auf das die zur Präsentation der prognostizierten Modulbelegungen verwendeten JBoss RichFaces und JSF Komponenten über Methoden der Controller-Klasse `loginBean` zugreifen können. Um dem Studierenden – wie im Konzept vorgesehen – die Möglichkeit zur Änderung prognostizierter Modulbelegungen zu geben, erfolgt die Präsentation mittels einer Kombination der JBoss RichFaces Komponenten `dataTable`, `dragSource` und `dropTarget`. Erstere ermöglicht die Visualisierung prognostizierter Modulbelegungen in einer Liste mit einem Listenabschnitt je Fachsemester (Bereich „Predicted Exams“ in Abbildung 6-16). Mithilfe der beiden letzteren Komponenten wird dem Studierenden Drag & Drop Funktionalität zur Verfügung gestellt, um das im Konzept vorgesehene Verschieben von prognostizierten Modulbelegungen in andere Fachsemester durch Änderung der Zuordnung von Listenelementen zu Listenabschnitten zu realisieren. Ebenfalls mit Drag & Drop Funktionalität versehen ist der Bereich „Available Exams“, mit den erweiterbaren bzw. ausblendbaren Listenabschnitten „SS: Available Summer Exams“ und „WS: Available Winter Exams“. Die Listenelemente dieser Abschnitte repräsentieren Module aus dem Curriculum des Studiengangs, für den die Prognose erstellt wurde und die der authentifizierte Studierende zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung noch nicht erfolgreich absolviert hat. Diese Module werden durch die Methode `getAvailableExams()` der Klasse `loginBean` unter Berücksichtigung des in der Ontologie repräsentierten Wissens und des Beschreibungsteils des visualisierten Repaired Case identifiziert und auf jeweils ein Objekt der Klasse `SolExamsRecord`, d. h. auf Objekte einer Modellklasse, abgebildet. Das Verschieben einzelner dieser Listenelemente in einen der Listenabschnitte des Bereichs „Predicted Exams“ entspricht dem im Konzept vorgesehenen Hinzufügen nicht belegter Module zu einzelnen Fachsemestern, während das entgegengesetzte Verschieben von Listenelementen aus Abschnitten des Bereichs „Predicted Exams“ in einen Abschnitt des Bereichs „Available Exams“ einem Löschen einer prognostizierten Modulbelegung gleichkommt. Die Verarbeitung der Drag & Drop Aktionen eines Studierenden übernehmen die Methoden der Controllerklasse `dragDropListeners`. Sie sorgen z. B. für die Speicherung bzw. das Löschen von Verweisen auf Objekte der Klasse `CaseStudExam` in Collection-Attributen von Objekten der Klasse `CaseStudSemester`, die zum deserialisierten Objekt der Klasse `CaseSolution` gehören, sowie für die Neuberechnung abgeleiteter Attribute.

Über die Schaltflächen im Bereich „Options“ sind darüber hinaus das Löschen der gesamten Prognose („Delete all semesters“) eines einzelnen Semesters („Delete semester“) sowie

das Hinzufügen weiterer Semester („Add semester“) möglich. Mit der Schaltfläche „Check Requirements/Save“ kann der Studierende die im Konzept vorgesehene Prüfung der vorgenommenen Änderungen auf Konformität mit der relevanten Prüfungsordnung sowie die Fortschreibung der geänderten Prognose in die Prediction Base anstoßen. Zuständig für beide Schritte ist die Methode `checkProgramRequirements()` der Klasse `loginBean`. In dieser Methode wird zunächst aus dem zuvor visualisierten Fall unter Berücksichtigung der vom Studierenden vorgenommenen Änderungen ein Solved Case erstellt, dessen Beschreibungs- (ein Objekt der Klasse `CaseStudent`) und Lösungsteil (ein Objekt der Klasse `CaseSolution`) mithilfe des aus Kapitel 6.3.3.6 bekannten RBR-Systems überprüft werden. Das Ergebnis der Überprüfung wird dem Studierenden in einem Infokasten angezeigt. Bspw. wird er gewarnt, wenn gemäß Prüfungsordnung unter Berücksichtigung der (geänderten) Prognose noch Studienleistungen zum Erwerb eines Abschlusses fehlen (Bereich „Warning“ in Abbildung 6-16). Die Serialisierung der geänderten Prognose in der Prediction Base erfolgt mithilfe des ORM-Frameworks Hibernate. Dabei wird das Attribut `edited` der Klasse `CaseSolution` mit einem Zeitstempel belegt, der als Flag zur Kennzeichnung einer durch einen Studierenden vorgenommenen Änderung der Prognose dient.

Mit der Serialisierung und einer anschließenden Abmeldung des Studierenden über eine Schaltfläche „Logout“ ist der implementierte Subprozess ISP-Revise beendet. Der Studierende hat jedoch bis zum Ablauf eines zu definierenden Zeitraums die Möglichkeit, den Subprozess durch eine erneute Authentifizierung neu zu starten, um weitere Änderungen vorzunehmen oder die ursprüngliche Prognose wiederherzustellen (Schaltfläche „Load System Generated Solution“).

6.4 Implementierung der datengetriebenen Komponente

6.4.1 Realisierung des Datenbanksystems

Konzeptgemäß bildet ein Data Mart das Datenbanksystem der datengetriebenen Komponente des prototypisch realisierten, zusammengesetzten DSS. Die physische Speicherung des Data Mart erfolgt in einem Schema der gleichen Oracle Datenbank, in der auch das Schema zur Datenhaltung in der Persistenzschicht (vgl. Kapitel 6.3.3.1) und das Schema für die Prediction Base (vgl. Kapitel 6.3.3.8) angelegt wurden. Hierdurch soll zusätzlicher Aufwand für die Installation und den Betrieb einer zusätzlichen (ggf. multidimensionalen) Datenbank vermieden werden. Aufgrund der Entscheidung für eine relationale Speiche-

ration sind die vorgesehenen multidimensionalen Konstrukte (z. B. die Dimension Organisationseinheit (vgl. Kapitel 5.3.2)) auf relationale Tabellen abzubilden (vgl. Kapitel 4.1.3). Dazu wurde das in Abbildung 6-17 dargestellte Star-Schema entworfen und durch entsprechende Tabellen in der Datenbank umgesetzt.

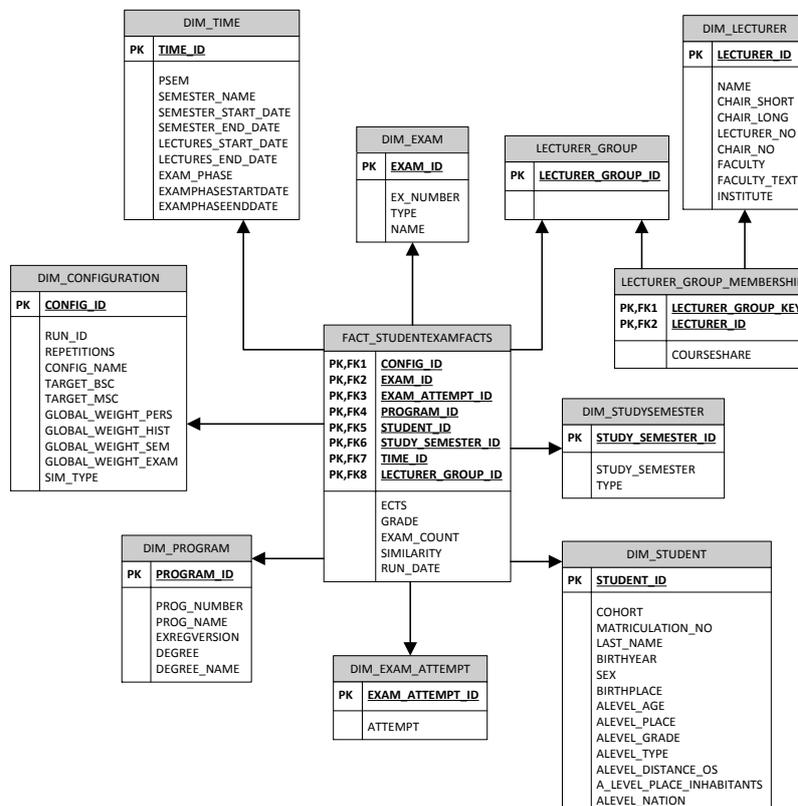


Abbildung 6-17: Datenmodell des Datenbanksystems der datengetriebenen Komponente

Quelle: Eigene Darstellung

Die Beladung der Tabellen des Data Mart erfolgt mithilfe mehrerer mit dem Werkzeug Informatica PowerCenter realisierter Mappings. Datenquellen der Mappings sind zum einen Flatfiles, die von einem Administrator mithilfe manueller Datenbankabfragen gegen das zentrale DWH der Universität Osnabrück erzeugt wurden. Daten aus diesen Flatfiles werden z. B. verwendet, um die Dimensionstabelle DIM_LLECTURER zu beladen. Alternativ hätte auch eine direkte Extraktion der Daten aus dem zentralen DWH realisiert werden können, aus Gründen des Datenschutzes musste hierauf jedoch verzichtet werden. Zum anderen bildet die Prediction Base (vgl. Kapitel 6.3.3.8) die Datenquelle zur Beladung der Dimensionstabellen DIM_EXAM, DIM_STUDYSEMESTER, DIM_STUDENT, DIM_EXAM_ATTEMPT, DIM_PROGRAM und DIM_CONFIGURATION sowie der Faktentabelle FACT_STUDENTEXAMFACTS.

Der Workflow `LoadStarSchemaSandburg`, der die Ausführung der realisierten Mappings und damit die Extraktion der Daten aus den Datenquellen, deren Transformation in das durch das Star-Schema vorgegebene Datenmodell sowie das Laden der Daten in die Zieltabellen steuert, wird im direkten Anschluss an die Durchführung des Subprozesses `Save` durch die Methode `startWfCmdLoadStar()` der Klasse `ShellRunInformWf` angestoßen. Da der Subprozess `ISP-Revise` zeitasynchron und ausgelöst durch einzelne Studierende stattfindet (vgl. Kapitel 6.3.3.9), liegen zu diesem Zeitpunkt in der `Prediction Base` ausschließlich serialisierte `Repaired Cases` vor, die (noch) nicht durch die jeweils repräsentierten Studierenden evaluiert wurden. Der `Data Mart` wird folglich ausschließlich mit Prognosedaten beladen, die individuelle studentische Präferenzen nicht explizit widerspiegeln. Um im Anschluss an den zur Durchführung des Subprozesses `ISP-Revise` definierten Zeitraum auch von Studierenden evaluierte `Repaired Cases` und damit Prognosedaten, die individuelle studentische Präferenzen explizit berücksichtigen, in den `Data Mart` zu laden, wird dem Benutzer des zusammengesetzten DSS über die Benutzerschnittstelle eine Option zur (erneuten) Ausführung des Workflows geboten (vgl. Schaltfläche „Load Forecasted Data To Data Mart“ in Abbildung 6-2).

Die in der Faktentabelle des `Data Mart` vorgehaltenen Kennzahlen weisen konzeptgemäß eine niedrige Granularität auf, sie stehen auf dem Detaillierungsgrad einzelner Studierender zur Verfügung: Jeder Eintrag in der Faktentabelle repräsentiert eine einzelne Belegung einer Klausur bzw. eines Moduls in einem Studiengang, die ein Studierender in einem Semester vor dem Zeitpunkt der Prognoseerstellung vorgenommen hat oder die für einen Studierenden prognostiziert wurde. Die Kennzahl `EXAM_COUNT`, die die Teilnehmerzahl repräsentiert, weist folglich stets den Wert 1 auf. Damit sind auf Basis des `Data Mart` zum einen detaillierte Auswertungen auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender möglich, wie sie im Konzept zur Unterstützung der Kapazitätsplanung auf operativer Ebene eines hochschulinternen Planungssystems vorgesehen sind (vgl. Kapitel 3.2; 5.3.1). Zum anderen werden Auswertungen auf höheren Aggregationsniveaus, wie einer Klausur bzw. einem Modul oder einem Studiengang unterstützt, die u. a. zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf der strategisch-taktischen Ebene des hochschulinternen Planungssystems vorgesehen sind (vgl. Kapitel 3.1; 5.3.1). Letztere sind durch einfache Gruppierungen der Daten z. B. entlang der Dimension `Lecturer` realisierbar.

Zu beachten ist, dass eine Klausur bzw. ein Modul von mehreren Dozenten gleichzeitig angeboten werden kann und jeder Dozent in der Regel mehrere Klausuren bzw. Module

anbietet. Folglich besteht zwischen der Faktentabelle und der Dimensionstabelle DIM_LECTURER eine n:m Beziehung. Die Auflösung dieser Beziehung erfolgt in Anlehnung an Adamson (2010) mithilfe der Tabellen LECTURER_GROUP und LECTURER_GROUP_MEMBERSHIP.

6.4.2 Realisierung des Berichtswesens

Die Basis der konzeptgemäßen Versorgung von Entscheidungsträgern der hochschulinternen Kapazitätsplanung mit prognostischen Informationen durch Standard- und analytische Berichte bildet ein mithilfe des Werkzeugs IBM Cognos Framework Manager definiertes multidimensionales Metadatenmodell. Als Basis des Metadatenmodells dient das realisierte Datenbanksystem (vgl. Kapitel 6.4.1): Basierend auf den Dimensionstabellen des Datenbanksystems wurden im Metadatenmodell die Dimensionen Configuration, Time, Faculty, Programs, Exam, Student, StudySemester und Attempt definiert. Die Dimension Configuration dient im Wesentlichen der Identifikation eines zu analysierenden Prognoselaufs. Zur Analyse prognostizierter Teilnehmerzahlen im Zeitablauf wurde die Dimension Time definiert. Sie ermöglicht u. a. eine Betrachtung von Prognosen je Semester und Prüfungstermin. Die Dimensionen Faculty, Programs, Exam und Students dienen im Wesentlichen der Analyse von Prognoseergebnissen auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus. Die für die Elemente der Dimension Faculty spezifizierte Hierarchie (vgl. Abbildung 6-18) erlaubt bspw. die zur Unterstützung der Kapazitätsplanung auf der operativen Ebene eines hochschulinternen Planungssystems vorgesehene (Diss-)Aggregation von Kennzahlen entlang der Organisationseinheiten eines Fachbereichs (vgl. Kapitel 5.3.1).

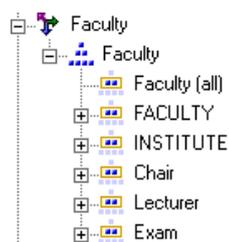


Abbildung 6-18: Hierarchie der Dimensionselemente der Dimension Faculty

Quelle: Eigene Darstellung

Neben den in der Datenquelle vorhandenen Kennzahlen ECTS, GRADE, SIMILARITY und EXAM_COUNT (vgl. Kapitel 6.4.1) wurden auf Basis von EXAM_COUNT zusätzlich die Kennzahl AverageCourseSize sowie die Kennzahlen StudentCount, StudentCountRPS und ExamCountRPS definiert. AverageCourseSize repräsentiert die

durchschnittliche Teilnehmerzahl einer Klausur bzw. eines Moduls, die im Rahmen des Standardberichtswesens konzeptgemäß als Ergänzung der Kennzahl EXAM_COUNT der Unterstützung der Entscheidungsträger auf der operativen Ebene des hochschulinternen Planungssystems dient. Ihre Auswertung ist ausschließlich auf den Hierarchieebenen Lecturer, Chair, Institute und Faculty der Dimension Faculty sinnvoll. ExamCountRPS wurde zur Realisierung des zur Fundierung der Kapazitätsplanung auf strategisch-taktischer Ebene des hochschulinternen Planungssystems vorgesehenen analytischen Berichtswesens definiert. Diese Kennzahl repräsentiert die Teilnehmerzahl, wobei ausschließlich teilnehmende Studierende berücksichtigt werden, die sich in der Regelstudienzeit befinden. Auch die Kennzahlen StudentCount und StudentCountRPS dienen der Fundierung der Kapazitätsplanung auf strategisch-taktischer Ebene des hochschulinternen Planungssystems. StudentCount repräsentiert die Anzahl an Studierenden und basiert auf einer Summation derjenigen durch Elemente der Dimension Student repräsentierten Studierenden, für die für ein betrachtetes Semester eine prognostizierte Modul- bzw. Klausurteilnahme vorliegt. Darauf basierend repräsentiert StudentCountRPS die Zahl der Studierenden in Regelstudienzeit.

Auf Basis des Metadatenmodells wurden mithilfe des Werkzeugs IBM Cognos Report Studio zwei beispielhafte Standardberichte zur Unterstützung von Entscheidungsträgern der Kapazitätsplanung auf der operativen Ebene des hochschulinternen Planungssystems erstellt.

Der im Konzept vorgesehene Standardbericht zur Fundierung der Belegung personeller und sachlicher Kapazitäten einzelner Fachbereiche ist in Abbildung 6-19, Abbildung 6-20 und Abbildung 6-21 dargestellt. Den Einstieg bildet eine sogenannte Eingabeaufforderungsseite (vgl. Abbildung 6-19), auf der der Entscheidungsträger neben der Auswahl eines Prognoselaufs, dessen Ergebnisse analysiert werden sollen, auch zur Eingabe des in einer Organisationseinheit zur Verfügung stehenden Kapazitätsangebots aufgefordert wird.

Capacity Demands for Load Assignment

Welcome, please make your choice

Please select the prediction run you want to see the results of*

Given Capacity per Department

Capacity	Department
<input type="text" value="1000"/>	<input type="text" value="Wirtschaftswissenschaften"/>
<input type="text" value="700"/>	<input type="text" value="Rechtswissenschaften"/>
<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="Sozialwissenschaften"/>

Given Capacity per Institute

Capacity	Institute
<input type="text" value="700"/>	<input type="text" value="Wirtschaftswissenschaften"/>
<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="Wirtschaftswissenschaften"/>
<input type="text" value="200"/>	<input type="text" value="Empirische Wirtschaftsforschung"/>

**Abbildung 6-19: Standardbericht zur Fundierung der Kapazitätsbelegung -
Eingabeaufforderungsseite**

Quelle: Eigene Darstellung

Gegenüber dem Konzept stellt der realisierte Bericht die im ausgewählten Prognoselauf prognostizierte Zahl an Studierenden (EXAM_Count) sowie die durchschnittliche Modul- bzw. Klausurteilnehmerzahl (AverageCourseSize) auf dem Aggregationsniveau einzelner Fachbereiche dar (vgl. Abbildung 6-20). Damit erfolgt eine Erweiterung der Zielgruppe des Berichts um die Gruppe der Entscheidungsträger, die mit der Kapazitätsplanung auf strategisch-taktischer Ebene des hochschulinternen Planungssystems befasst sind. Ihnen wird eine Übersicht der prognostizierten (durchschnittlichen) Anzahl an Modul- bzw. Klausurteilnehmern gruppiert nach den Fachbereichen der Hochschule gegeben. Dabei werden die über die Eingabeaufforderungsseite erfassten Kapazitätsangebotsgrößen als Schwellenwerte für ein markierendes Exception Reporting verwendet. Im dargestellten Beispiel reicht die am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften insgesamt zur Verfügung stehende Kapazität von 1000 Modul- bzw. Klausurteilnehmern im WS 2013/2014 nicht aus, um die prognostizierte Kapazitätsnachfrage (die gesamte studentische Nachfrage nach Plätzen in Modulen bzw. Klausuren) zu decken. Die entsprechende Zelle der Kreuztabelle wird daher rot hervorgehoben.

Change prediction run*

	WS 2013/2014		SS 2014		WS 2014/2015		SS 2015	
	EXAM COUNT	AverageCourseSize	EXAM COUNT	AverageCourseSize	EXAM COUNT	AverageCourseSize	EXAM COUNT	AverageCourseSize
Mathematik/Informatik	3	3			4	4		
Wirtschaftswissenschaften	1.000	32	971	27.7428571	605	22.4074074	886	29.5333333
Rechtswissenschaften	3	3	70	70	8	8	16	16
Sozialwissenschaften			15	15				

Abbildung 6-20: Standardbericht zur Fundierung der Kapazitätsbelegung - Kapazitätsnachfrage je Fachbereich und Semester

Quelle: Eigene Darstellung

In den Bericht integriert ist eine Drill-Down-Funktion entlang der in Abbildung 6-18 dargestellten Hierarchie der Dimensionselemente der Dimension Faculty, mithin entlang der Organisationseinheiten der Hochschule. Das Ergebnis eines Drill-Downs auf die Ebene der Institute des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften zeigt Abbildung 6-21. Die dargestellte Berichtssicht entspricht dem im Konzept vorgesehenen Bericht zur Unterstützung von Dekanen und Studiengangkoordinatoren. Die über die Eingabeaufforderungsseite erfassten Kapazitätsangebotsgrößen werden auch auf dieser Ebene als Schwellenwerte für ein markierendes Exception Reporting genutzt. Da die am Institut für Empirische Wirtschaftsforschung zur Verfügung stehende Kapazität von insgesamt 200 Modul- bzw. Klausurteilnehmern in keinem der ausgewiesenen Semester ausreicht, um die prognostizierte Kapazitätsnachfrage zu decken, werden die entsprechenden Zellen rot markiert.

Change prediction run*

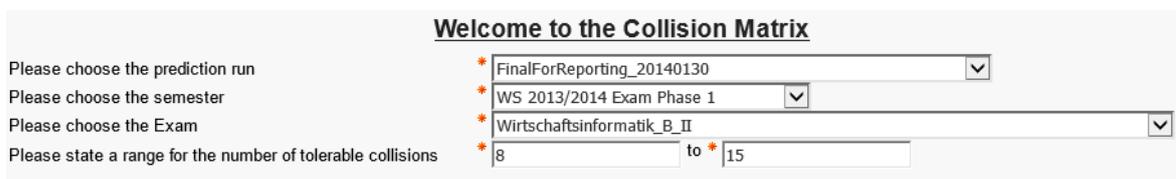
	WS 2013/2014		SS 2014		WS 2014/2015		SS 2015	
	EXAM COUNT	AverageCourseSize	EXAM COUNT	AverageCourseSize	EXAM COUNT	AverageCourseSize	EXAM COUNT	AverageCourseSize
Empirische Wirtschaftsforschung	200	29.2222222	200	26.2727273	201	40.2	204	35.5
IMU	64	8	64	12.8	18	4.5	100	35
ohne Institut	200	44.7647059	618	29.4285714	386	21.4444444	497	21.6086957

Abbildung 6-21: Standardbericht zur Fundierung der Kapazitätsbelegung - Kapazitätsnachfrage je Institut und Semester

Quelle: Eigene Darstellung

Um Entscheidungsträger verschiedener Organisationseinheiten mit den für sie relevanten prognostischen Informationen zu versorgen, wurde auf Basis des oben beschriebenen Berichts eine Zielgruppenverteilung realisiert. Der Bericht wird dabei entlang der Hierarchie der Dimensionselemente der Dimension Faculty in Detailberichte zerlegt, die jeweils dem für die Kapazitätsplanung der entsprechenden Organisationseinheit verantwortlichen Entscheidungsträger bereitgestellt werden. Bspw. existiert ein der in Abbildung 6-21 dargestellten Berichtssicht entsprechender Detailbericht, der dem Dekan des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaft zur Verfügung gestellt wird.

Zur Fundierung der Terminplanung wurde der in Abbildung 6-22 und Abbildung 6-23 skizzierte Bericht realisiert, der die Anzahl an Überschneidungen zwischen Modulen bzw. Klausuren visualisiert (vgl. Kollisionsmatrix, Kapitel 5.3.1). Über eine Eingabeaufforderungsseite wird ein mit der Terminplanung befasster Entscheidungsträger zunächst aufgefordert, einen Prognoselauf, dessen Ergebnisse analysiert werden sollen, auszuwählen. Zu wählen sind ferner ein Semester sowie ein Modul bzw. eine Klausur, für die die Anzahl an Überschneidungen analysiert werden soll. Schließlich kann der Entscheidungsträger ein Intervall der akzeptablen Anzahl an Überschneidungen angeben.



The screenshot shows a web form titled "Welcome to the Collision Matrix". It contains four input fields with labels on the left and asterisks on the left of the input boxes:

- Label: "Please choose the prediction run", Input: "FinalForReporting_20140130" (dropdown menu)
- Label: "Please choose the semester", Input: "WS 2013/2014 Exam Phase 1" (dropdown menu)
- Label: "Please choose the Exam", Input: "Wirtschaftsinformatik_B_II" (dropdown menu)
- Label: "Please state a range for the number of tolerable collisions", Input: "8" to "15" (two text input boxes)

Abbildung 6-22: Bericht zur Fundierung der Terminplanung - Eingabeaufforderungsseite

Quelle: Eigene Darstellung

Im Gegensatz zum Konzept erfolgt aufgrund der Vielzahl angebotener Module bzw. Klausuren die Darstellung von Überschneidungen nicht in Form einer Matrix. Um die Übersichtlichkeit des Berichts sicherzustellen, wird vielmehr nur für die über die Eingabeaufforderungsseite ausgewählte Klausur die Anzahl an Überschneidungen mit anderen Modulen bzw. Klausuren dargestellt (vgl. Abbildung 6-23). Das vom Entscheidungsträger angegebene Intervall der akzeptablen Anzahl an Überschneidungen wird konzeptgemäß für die Definition von Schwellenwerten eines markierenden Exception Reporting verwendet. Liegt die Anzahl an Überschneidungen zwischen dem ausgewählten Modul/der ausgewählten Klausur und einem anderen Modul/einer anderen Klausur innerhalb des Intervalls, erfolgt eine gelbe Hervorhebung. Übersteigt die Anzahl die obere Grenze des Intervalls, erfolgt eine rote Hervorhebung.

Exam collisions for
Exam: Wirtschaftsinformatik_B_II
Semester: WS 2013/2014 Exam Phase 1

EXAM_ID	Exam Title	# affected students
50342	Accounting_B_III	2
50348	Accounting_B_V	13
50408	Economics_B_V	15
50414	Economics_B_VII	14
50539	Management_B_VI	11
50572	Methoden_B_III	2
50577	Methoden_B_IV	5

Abbildung 6-23: Bericht zur Fundierung der Terminplanung - Anzahl an Überschneidungen

Quelle: Eigene Darstellung

Mit dem im IBM Cognos Framework Manager definierten multidimensionalen Metadatenmodell und dem Star-Schema liegt faktisch ein R-OLAP Würfel vor, der Entscheidungsträgern auf der strategischen Ebene des hochschulinternen Planungssystems zur Realisierung des vorgesehenen analytischen Berichtswesens zur Verfügung gestellt wird. Mithilfe des Entwicklungswerkzeugs IBM Cognos Analysis Studio können diese Entscheidungsträger eigenständig durch den Würfel navigieren und OLAP-Sichten erstellen. Beispielhaft wurde die in Abbildung 6-24 dargestellte OLAP-Sicht zur Unterstützung von Entscheidungsträgern der Kapazitätsdimensionierung gemäß KapVO und der Aufteilung von Globalhaushalten erstellt. Sie visualisiert die prognostizierte Anzahl an Studierenden in Regelstudienzeit je Semester und Fachbereich.

StudentCountRPS	WS 2013/2014	SS 2014	WS 2014/2015	SS 2015	WS 2015/2016	SS 2016	WS 2016/2017
Sozialwissenschaften		15					
Mathematik/Informatik	3		4		5		0
Wirtschaftswissenschaften	288	372	189	313	266	231	172
Faculty (all)	313	378	205	317	292	235	196

Abbildung 6-24: OLAP-Sicht zur Fundierung der Kapazitätsplanung auf strategisch-taktischer Ebene des hochschulinternen Planungssystems

Quelle: Eigene Darstellung

7 Evaluation

Dieses Kapitel widmet sich der Evaluation des in Kapitel 5 vorgestellten Konzepts. Die Ausführungen bilden im Sinne der gewählten Forschungsmethodik den letzten Schritt des Forschungsprozesses – die Überprüfung der Forschungsergebnisse. Dabei erfolgt eine Beurteilung der Eignung des Konzepts zur prognostischen Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung anhand der beispielhaften Anwendung des in Kapitel 6 aus einer technischen Perspektive diskutierten Prototyps. Eine Operationalisierung der Eignung erfolgt durch verschiedene Gütemaße, deren Interpretation vor dem Hintergrund verschiedener Konfigurationen der CBR-Komponente und durch eine Gegenüberstellung mit den Ergebnissen einer quantitativen Prognosemethode im Sinne eines Benchmarks erfolgt.

7.1 Ziele, Kriterien und Vorgehen

7.1.1 Explizierung von Evaluationsziel und Evaluationskriterium

Der in der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik gängigen Betrachtung eines konstruierten Artefakts als Evaluationsgegenstand sowie der allgemeinen Zielsetzung, mittels der Evaluation dieses Artefakts eine fundierte Aussage hinsichtlich dessen Eignung zur Lösung eines identifizierten Problems zu treffen (vgl. Riege u. a., 2009, S. 72 f.), wird in dieser Arbeit gefolgt. Im Mittelpunkt steht folglich die Bewertung des in Kapitel 5 erörterten Konzepts (Evaluationsgegenstand) hinsichtlich dessen Eignung zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems (Zielsetzung).

Neben der vorgenommenen Explizierung von Evaluationsgegenstand und -ziel ist eine Festlegung eines Bezugspunkts oder mehrerer Bezugspunkte der Evaluation notwendig. Von Bedeutung in der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik ist die Evaluation des Artefakts erstens gegen eine identifizierte Forschungslücke und zweitens gegen die Realwelt (vgl. Riege u. a., 2009, S. 75). Die Evaluation gegen die Forschungslücke erfolgt regelmäßig durch die Konstruktion eines Prototyps (vgl. Riege u. a., 2009, S. 79). Sie ist mit der in Kapitel 6 erläuterten Realisierung des Konzepts im Sinne eines Proof-of-Concept abgeschlossen. Im Folgenden wird daher die Evaluation gegen die Realwelt fokussiert. Der Schwerpunkt liegt – den Ausführungen von Riege, Saat & Bucher (2009) folgend – somit

auf der Untersuchung, ob das Konzept unter realen Bedingungen zur prognostischen Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung geeignet ist.

Um der Forderung nach Objektivität der Evaluation (vgl. Frank, 2000, S. 36 f.) nachzukommen, mithin die intersubjektive Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen, werden im Folgenden Evaluationskriterien ausgewählt, anhand derer die Eignung des Konzepts zu bewerten ist.

Das in Kapitel 5 vorgestellte Konzept verfolgt die prognostische Fundierung der Kapazitätsplanung auf allen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems mittels eines zusammengesetzten DSS. Mentzer & Gomes (1989) fordern für die Evaluation derartiger, auf Unterstützung durch Erstellung und Bereitstellung von Prognosen zielender DSS eine Fokussierung auf die Bewertung der zugrundeliegenden Prognosemethode (vgl. Mentzer & Gomes, 1989, S. 315). Hierzu wird in der Literatur eine Vielzahl an Kriterienkatalogen vorgeschlagen (vgl. z. B. Armstrong & Collopy, 1992; Armstrong, 2001c; Hüttner, 1986; Mentzer & Kahn, 1995; Sanders & Manrodt, 1994; Yokum & Armstrong, 1995). Gemeinsam ist den Vorschlägen die Nennung der Prognosegenauigkeit als wichtigstes Evaluationskriterium (vgl. hierzu insbesondere Armstrong, 2001c, S. 369 f.). Die Bedeutung der Bewertung von Prognosemethoden anhand zusätzlicher Kriterien, wie bspw. der mit der Prognoseerstellung verbundenen Kosten, der Komplexität bzw. des Komforts oder der Flexibilität der Methode, wird grundsätzlich durch mehrere Studien belegt (vgl. z. B. Armstrong, 2001c, S. 369; Hüttner, 1986, S. 284 ff.; Sanders & Manrodt, 1994, S. 98). Mit der Erfassung der Ausprägungen dieser Kriterien verbunden ist aber teilweise eine starke Subjektivität (vgl. Hüttner, 1986, S. 286). Aufgrund dieser Subjektivität sowie aufgrund des außerordentlichen Stellenwerts des Kriteriums Prognosegenauigkeit wird ausschließlich letzteres zur Bewertung des Konzepts herangezogen. Die Auswahl der zur Operationalisierung der Prognosegenauigkeit verwendeten Evaluationsmaße erfolgt im nächsten Kapitel.

7.1.2 Auswahl von Evaluationsmaßen zur Operationalisierung des Evaluationskriteriums

Die Prognosegenauigkeit wird in Forschung und Praxis gemeinhin mittels sogenannter statistischer Gütemaße operationalisiert, zu deren Konstruktion Prognosefehler (vgl. Kapitel 2.2.1.3) mehrerer Beobachtungs-Prognose-Paare herangezogen werden (vgl. Hansmann, 1983, S. 15; Küsters, 2012, S. 426 ff.). Aus den mit dem Einsatzbereich einer zu evaluierenden Prognosemethode divergierenden Anforderungen an die Messung der Prognose-

genauigkeit resultiert eine nur schwer zu überschauende Vielzahl dieser Gütemaße (vgl. Andres & Spiwoks, 2000, S. 9). Im weiteren Verlauf der Arbeit wird grundsätzlich der Empfehlung von Armstrong (2001a) gefolgt, mehrere Gütemaße zu verwenden, um die Prognosegenauigkeit unter verschiedenen Gesichtspunkten beurteilen zu können (vgl. Armstrong, 2001a, S. 460). Die Bewertung der Prognosegenauigkeit erfolgt anhand der im Folgenden näher erläuterten Gütemaße:

- Mittlerer relativer absoluter symmetrischer Prognosefehler (MRASP),
- Median der relativen absoluten symmetrischen Prognosefehler (MdRASP),
- Mittlerer absoluter Prognosefehler (MAP) und
- Median der absoluten Prognosefehler (MdAP).

Die Auswahl basiert auf einer Analyse einschlägiger Gütemaße hinsichtlich der von Makridakis (1993) aufgestellten Anforderungen an die Bewertung der Prognosegenauigkeit: Die verwendeten Gütemaße sollen sich auszeichnen durch Robustheit gegenüber Ausreißern sowie einfache Verständlichkeit und bei ihrer Berechnung soll eine Division durch null ausgeschlossen sein (vgl. Makridakis, 1993, S. 528). Ferner sollte zu Vergleichszwecken stets ein relatives Gütemaß Anwendung finden (vgl. Makridakis, 1993, S. 528).

Der **MRASP** (in der angloamerikanischen Literatur auch Symmetric mean absolute percentage error (SMAPE)) ist ein Gütemaß, das die genannten Anforderungen vergleichsweise am besten erfüllt (vgl. Makridakis, 1993, S. 528 f.). Als Erweiterung des weit verbreiteten Mittleren relativen absoluten Prognosefehlers (MRAP, bzw. in der angloamerikanischen Literatur Mean absolute percentage error (MAPE)) stellt der MRASP ein relatives Maß dar, das sich durch leichte Verständlichkeit auszeichnet (vgl. Makridakis, 1993, S. 528). Der Wert des MRASP kann als mittlere prozentuale Abweichung zwischen Prognose- und Beobachtungswerten interpretiert werden, wobei ein $MRASP = 0$ eine perfekte Prognose beschreibt (vgl. Barrot, 2007, S. 419). Die Berechnung erfolgt in der Regel nach der Formel $MRASP = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{|x_j - f_j|}{\frac{x_j + f_j}{2}} * 100$ (vgl. Makridakis & Hibon, 2000, S. 461), deren Ergebnismenge [0%; 200%] ist. Um die Interpretierbarkeit zu erleichtern, wird im Folgenden die Formel $MRASP = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{|x_j - f_j|}{x_j + f_j} * 100$ verwendet, die ein Ergebnis kleiner oder gleich 100% liefert. Zentraler Bestandteil der Formel ist der – auch als symmetrischer absoluter prozentualer Prognosefehler bezeichnete – Term $\frac{|x_j - f_j|}{x_j + f_j}$. Der Zähler des Bruchs stellt die Differenz aus einem Beobachtungswert x_j und einem prognostizierten Wert f_j ,

mithin den Prognosefehler eines Beobachtungs-Prognose-Paars j dar. Mit der Division des Prognosefehlers durch die Summe aus beobachtetem und prognostiziertem Wert soll sichergestellt werden, dass betragsmäßig gleiche Abweichungen gegenüber einem beobachteten Wert nach oben ($f_j > x_j$) und nach unten ($f_j < x_j$) jeweils einen vergleichbaren Einfluss auf das Ergebnis haben (vgl. Küsters, 2012, S. 435; Makridakis, 1993, S. 529). Der MRASP ist schließlich zu ermitteln durch eine Mittelwertbildung über die symmetrischen absoluten prozentualen Prognosefehler aller Beobachtungs-Prognose-Paare. Aufgrund der Eigenschaften, bei stets positiven Prognosewerten auch für nullwertige Beobachtungswerte definiert zu sein (vgl. Küsters, 2012, S. 435) und bei Vorliegen kleiner Beobachtungswerte keine extremen Ergebnisse zu produzieren (vgl. Makridakis & Hibon, 2000, S. 461), erweist sich der MRASP für die Operationalisierung der Prognosegenauigkeit im Kontext der hochschulinternen Kapazitätsplanung als vorteilhaft. Bspw. sind negative Prognosewerte auf dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren nicht zu erwarten, das Gütemaß ist damit stets definiert. Ferner sind kleine Beobachtungswerte (z. B. geringe Teilnehmerzahlen an Wahlpflicht-Klausuren in fortgeschrittenen Semestern) zu erwarten, die Verwendung eines Gütemaßes, das robust gegenüber derartigen Werten ist, ist daher zwingend erforderlich.

Der **MdRASP** (in der angloamerikanischen Literatur auch Median symmetric absolute percentage error (MdSAPE)) ist dem MRASP sehr ähnlich. Der Unterschied zwischen beiden Gütemaßen besteht darin, dass bei der Berechnung des MdRASP nicht das arithmetische Mittel, sondern der Median der symmetrischen absoluten prozentualen Prognosefehler aller Beobachtungs-Prognose-Paare ermittelt wird (vgl. Makridakis & Hibon, 1995, S. 7). Dieses Gütemaß zeichnet sich insbesondere durch seine Robustheit gegenüber Ausreißern aus (vgl. Makridakis & Hibon, 1995, S. 7). Die Ergebnismenge ist $[0\%; 100\%]$. Im Vergleich zum MRASP gestaltet sich die Interpretation des MdRASP schwieriger: ein $MdRASP = 15\%$ bedeutet beispielsweise nicht, dass der absolute prozentuale Prognosefehler 15% beträgt; vielmehr sagt dieser Wert aus, dass der absolute prozentuale Fehler für die Hälfte der Beobachtungs-Prognose-Paare kleiner, für die andere Hälfte größer als 15% ist (vgl. Makridakis & Hibon, 1995, S. 7). Der MdRASP wurde zur Bewertung der Prognosegenauigkeit ausgewählt, um die Ergebnisse einer Bewertung auf Basis des MRASP gegen Ausreißer abzusichern.

Der **MAP** wird bestimmt als Mittelwert der absoluten Abweichung prognostizierter und beobachteter Werte über alle Beobachtungs-Prognose-Paare, mithin als Mittelwert aller

absoluten Prognosefehler: $MAP = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J |x_j - f_j| * 100$ (vgl. Barrot, 2007, S. 419). Es kommt hierbei nicht zu einer Saldierung von Unter- und Überprognosen, da ausschließlich absolute Abweichungen betrachtet werden; ein $MAP = 0$ wird folglich als perfekte Prognose interpretiert (vgl. Andres & Spiwoкс, 2000, S. 13; Barrot, 2007, S. 419) und die Ergebnismenge ist $[0; \infty]$ (vgl. Makridakis & Hibon, 1995, S. 4). Der MAP wurde als ergänzendes Maß zur Bewertung der Prognosegenauigkeit hauptsächlich aufgrund der Eigenschaft ausgewählt, dass auf seiner Basis Aussagen hinsichtlich systematischer Verzerrungen der Prognose getroffen werden können (vgl. Küsters, 2012, S. 433). Ferner weist dieses Gütemaß besondere Eignung zur Beurteilung von Prognosemethoden im Kontext der Kapazitätsplanung auf, die bspw. im Hinblick auf die Ermittlung optimaler Lagerbestände nachgewiesen wurde (vgl. Makridakis & Hibon, 1995, S. 5).

Um den MAP gegenüber Ausreißern abzusichern, wird zusätzlich der **MdAP** in die Bewertung einbezogen. Er wird im Gegensatz zum MAP durch Bestimmung des Medians der absoluten Prognosefehler über alle Beobachtungs-Prognose-Paare bestimmt und ist daher wie der MdRASP robust gegenüber Ausreißern (vgl. Barrot, 2007, S. 420).

Mit dem MRASP und dem MdRASP wurden zwei relative Gütemaße ausgewählt, die aufgrund ihrer Eigenschaften in Forschung und Praxis breite Anwendung finden. Beide Gütemaße wurden bspw. zur vergleichenden Beurteilung der Prognosegüte verschiedener Prognosemethoden im Rahmen der sogenannten M3-Competition⁸⁶ verwendet (vgl. Makridakis & Hibon, 2000) und bieten sich daher für Vergleiche des Evaluationsgegenstands mit anderen Prognosemethoden an. Zusätzlich wurden mit dem MAP und dem MdAP zwei absolute Gütemaße ausgewählt, die sich durch eine einfache Berechnen- und Interpretierbarkeit auszeichnen (vgl. Andres & Spiwoкс, 2000, S. 10 ff.). Da diese beiden Gütemaße skalenabhängig sind, eignen sie sich ausschließlich zum Vergleich der Prognosegenauigkeit verschiedener Prognosemethoden, wenn zur Durchführung der Methoden jeweils dieselbe Datenbasis genutzt wird (vgl. Hyndman & Koehler, 2006, S. 682). Die Vorgehensweise zur Ermittlung der für die Berechnung der ausgewählten Gütemaße benötigten Beobachtungs- und Prognosewerte (x_j und $f_j \forall j \in J$) wird im folgenden Kapitel 7.1.3 ausführlich dargelegt.

⁸⁶ Die M3-Competition ist eine von mehreren empirischen Studien, die auf einen objektiven Vergleich der Genauigkeit der Ergebnisse verschiedener, auf Zeitreihenanalysen beruhender Prognosemethoden, die jeweils auf mehrere Zeitreihen angewendet werden, zielen (vgl. Makridakis & Hibon, 2000, S. 451 ff.).

7.1.3 Vorgehensweise zur Ermittlung der Evaluationsmaße

7.1.3.1 Auswahl des Untersuchungsdesigns

Die Prognosegenauigkeit ist im Hinblick auf das zu evaluierende Artefakt maßgeblich determiniert durch die wissensgetriebene Komponente des DSS, die ein innovatives Konzept zur Erstellung von Prognosen darstellt. Die datengetriebene Komponente bedient sich dem gegenüber etablierter Methoden für die Bereitstellung der Prognosen in von Entscheidungsträgern verwertbarer Form. Die Bewertung der Prognosegenauigkeit fokussiert daher die Ergebnisse der Anwendung der prototypisch implementierten wissensgetriebenen Komponente mit realen Studierenden- und Prüfungsdaten. Insofern handelt es sich bei dem im Folgenden diskutierten Vorgehen um eine Evaluation gegen einen Realweltausschnitt im Sinne von Riege, Saat & Bucher (2009).

Laut Küsters (2012) bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten zur Bewertung der Prognosegenauigkeit. Die Erste besteht in der Interpretation zur Operationalisierung der Prognosegenauigkeit einer Methode verwendeter Evaluationsmaße mithilfe sogenannter Interpretationsschemata. Eine zweite Möglichkeit stellt die Gegenüberstellung für eine untersuchte Methode ermittelter Evaluationsmaße mit für ein Referenzverfahren (Benchmark) erhobenen Evaluationsmaßen dar. Beide Alternativen werden zur Bewertung des vorgestellten Konzepts herangezogen. Daher ist ein Untersuchungsdesign auszuwählen, das mit vertretbarem Aufwand die Realisierung beider Alternativen erlaubt.

Zur Berechnung der in Kapitel 7.1.2 diskutierten Gütemaße ist eine Sequenz von Beobachtungs-Prognose-Paaren (x_j, f_j) erforderlich. Für die Ermittlung dieser Paare stehen zwei⁸⁷ verschiedene Untersuchungsdesigns zur Verfügung, die Track-Record-Analyse und die Prognosesimulation (vgl. Küsters, 2012, S. 427).

Die **Track-Record-Analyse** scheidet zur Bestimmung der Prognosegenauigkeit im vorliegenden Anwendungsfall aus. Zu ihrer Durchführung sind Prognosen zu erstellen und nach Erreichen des Prognosehorizonts mit beobachteten Werten zu vergleichen (vgl. Küsters, 2012, S. 428 f.). Dieses Untersuchungsdesign kommt der Lösung eines realen Prognoseproblems sehr nahe und erscheint daher zur Bewertung der Prognosegenauigkeit grundsätzlich sehr sinnvoll. Die Anwendung des Verfahrens ist im vorliegenden

⁸⁷ Küsters (2012) nennt die „Berechnung der Anpassungsgüte innerhalb einer Zeitreihe auf Grundlage von ex post Prognosen“ (vgl. Küsters, 2012, S. 427) als drittes Untersuchungsdesign. Da dieses ausschließlich die Anpassungsgüte misst, nicht aber zu Beobachtungs-Prognose-Paaren führt (vgl. Küsters, 2012, S. 428), wird es nicht näher betrachtet.

Anwendungsfall jedoch problematisch: Einerseits sind Beobachtungswerte im Sinne von Teilnehmerzahlen an Klausuren durch individuelle Studienpläne einzelner Studierender mehrerer Studiengänge und/oder Fachbereiche determiniert (vgl. Kapitel 5.1.1). Andererseits ist der Prototyp am Beispiel von nur zwei Studiengängen eines Fachbereichs der Universität Osnabrück realisiert und erlaubt somit ausschließlich die Prognose individueller Studienpläne für Studierende dieser Studiengänge. Daher sind bei einem Vergleich mittels des Prototyps erstellter Prognosen mit Beobachtungswerten systematische Verzerrungen durch die fehlende Berücksichtigung von Studierenden anderer Studiengänge oder Fachbereiche nicht auszuschließen.

Die **Prognosesimulation** erweist sich insbesondere für vergleichende Bewertungen verschiedener Prognosemethoden als vorteilhaft (vgl. Küsters, 2012, S. 429). Das Verfahren stammt aus der Bewertung von auf Zeitreihenanalysen beruhenden Prognosemethoden und basiert im Wesentlichen auf der Aufteilung einer Zeitreihe $\{y_1, y_2, \dots, y_T\}$ in eine Kalibrationsstichprobe $\{y_1, y_2, \dots, y_N\}$ und eine Teststichprobe $\{y_{N+1}, \dots, y_T\}$ mit $N < T$ (vgl. Küsters, 2012, S. 429). Die Kalibrationsstichprobe dient der Festlegung und Parametrisierung einer Prognosefunktion, mit der – wiederum basierend auf der Kalibrationsstichprobe – Prognosen für die Zeitabschnitte zwischen N und T erstellt werden (vgl. Küsters, 2012, S. 429), der Prognosehorizont entspricht bei Anwendung dieses Verfahrens folglich $T - N$ Zeitabschnitten. Im Ergebnis liegen zu jedem Beobachtungswert $\{y_{N+1}, \dots, y_T\}$ aus der Teststichprobe Prognosewerte $\{f_{N+1}, \dots, f_T\}$ vor. Das Verfahren führt somit zu Beobachtungs-Prognose-Paaren für verschiedene Zeitabschnitte, auf deren Basis Gütemaße berechnet werden können, um die Prognosequalität zu bewerten. Im folgenden Kapitel wird eine modifizierte Version dieses Verfahrens näher erläutert, die der Ermittlung von Beobachtungs-Prognose-Paaren mittels des implementierten Prototyps auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender dient. Die Anwendung der „klassischen“ Prognosesimulation mittels eines Referenzverfahrens, das als Benchmark für mittels des implementierten Prototyps erstellte und auf das Niveau einzelner Klausuren aggregierte Prognosen dient, wird in Kapitel 7.1.3.4 beschrieben.

7.1.3.2 Prognosesimulation zur Ermittlung von Beobachtungs-Prognose-Paaren auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender

Die Prognosesimulation auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender wird in Ermangelung einer mit vertretbarem Aufwand realisierbaren alternativen Methode (vgl. Kapitel 3.3) ausschließlich mittels des Prototyps durchgeführt. Die Erzeugung von

Beobachtungs-Prognose-Paaren erfolgt im Rahmen der im Folgenden erläuterten und in Abbildung 7-1 grafisch veranschaulichten Schritte, die an das von Gu & Aamodt (2006) vorgeschlagene und als leave-one-out-cross-validation (LOOCV) bezeichnete Verfahren zur statistischen Evaluation von CBR-Systemen angelehnt sind⁸⁸. Die Realisierung dieser Schritte beruht auf einer Entwicklungsarbeit, die im Rahmen einer Bachelorarbeit⁸⁹ durchgeführt und im Rahmen der vorliegenden Arbeit erweitert wurde.

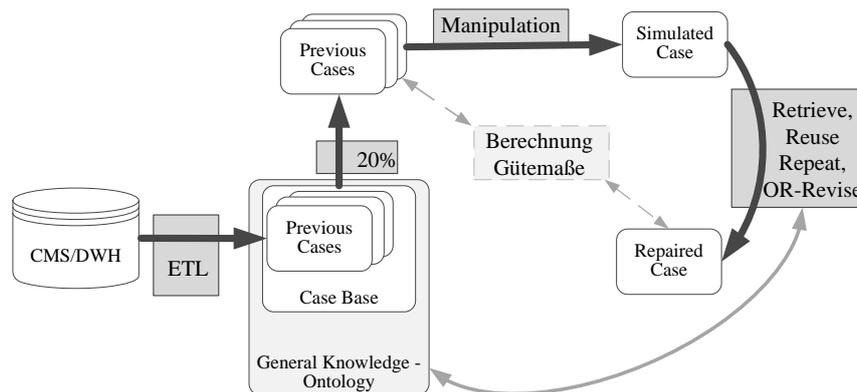


Abbildung 7-1: Verfahren zur Prognosesimulation auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender

Quelle: Eigene Darstellung

In einem **ersten Schritt** erfolgt zunächst der Aufbau einer Fallbasis mittels des in Kapitel 6.3.3.1 erläuterten Verfahrens: Als Persistenzschicht dienen die vier Tabellen SMALLTESTSTUD, SMALLTESTHIST, SMALLTESTSEM und SMALLTESTEXAM, deren Struktur dem in Kapitel 6.3.3.1 dargestellten Datenmodell folgt. Die Persistenzschicht wird wie in Kapitel 6.3.3.1 (Subprozess Initialize) skizziert durch einen ETL-Prozess beladen. Zu Evaluationszwecken stehen nach der Beladung insgesamt 1160 Previous Cases zur Verfügung, die Studierende und Alumni des Bachelorstudiengangs Wirtschaftswissenschaft des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der Universität Osnabrück samt deren bis zum 23.05.2013, d. h. bis zum Beginn des SS 2013 realisierten Studienverläufen repräsentieren. 727 dieser Fälle repräsentieren männliche, 430 weibliche Studierende⁹⁰. Alumni werden

⁸⁸ Da der Vorschlag von Gu & Aamodt (2006) CBR-Systeme mit dialogorientierter Fallrepräsentation fokussiert, wurde das Verfahren zum Einsatz im Kontext des in Kapitel 6 diskutierten Prototyps, bei dem eine objektorientierte, d. h. strukturelle, Fallrepräsentation vorliegt, angepasst.

⁸⁹ Die unveröffentlichte Arbeit wurde von Herrn Tobias Michel, M.Sc. am 17.04.2013 am Fachgebiet Management Support und Wirtschaftsinformatik des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der Universität Osnabrück vorgelegt und trägt den Titel *Entwurf und prototypische Implementierung eines Evaluationskonzepts für prognoseorientierte Case-Based Reasoning Systeme*.

⁹⁰ Bei drei Studierenden ist das Merkmal „Geschlecht“ in den Stammdaten nicht gepflegt.

durch 50 der Fälle repräsentiert. Die Anzahl an Previous Cases, gruppiert nach dem höchsten, vom jeweils repräsentierten Studierenden am 23.05.2013 erreichten Fachsemester, ist zusammen mit den erreichten Durchschnittsnoten und der durchschnittlich erreichten Summe an ECTS in Tabelle 7-1 dargestellt⁹¹:

Tabelle 7-1: Anzahl, Durchschnittsnoten und Summen der ECTS zur Evaluation genutzter Previous Cases

<i>Anzahl Previous Cases</i>	<i>Höchstes erreichtes Fachsemester</i>	<i>Durchschnittsnote</i>	<i>Durchschnittliche Summe ECTS</i>
180	1	3,41	5,46
364	2	3,03	27,64
28	3	2,86	47,61
235	4	2,66	75,46
131	5	2,51	134,21
102	6	2,79	139,16
43	7	2,92	157,27
27	>7	3,12	132,59

Auf Basis der Persistenzschicht wird wie in 6.3.3.1 erläutert zur Laufzeit der CBR-Komponente ein Objekt der Klasse `LinealCaseBase` – die zu Evaluationszwecken genutzte Fallbasis – erzeugt. Aus dieser Fallbasis werden in einem **zweiten Schritt** zufällig 20% der Previous Cases ausgewählt, die zur Prognosesimulation die nachfolgenden Schritte drei und vier iterativ durchlaufen.

Der **dritte Schritt** dient einer Manipulation der ausgewählten Previous Cases und ist als Äquivalent der in Kapitel 7.1.3.1 erläuterten Aufteilung von Zeitreihen in Kalibrations- und Teststichprobe zu interpretieren. Jeder dieser Previous Case wird in einen sogenannten *Simulated Case* transformiert, der grundsätzlich denselben Studierenden repräsentiert wie der Previous Case. Im Gegensatz zum Previous Case umfasst der Simulated Case aber den realisierten Studienverlauf des Studierenden zu einem gegenüber dem Zeitpunkt $T = \text{Beginn des Sommersemesters 2013}$ (Datum des Aufbaus der Fallbasis, s.o.) früheren Zeitpunkt $N = T - X$ und kann daher im weitesten Sinne als Kalibrationsstichprobe interpretiert werden. Die Transformation erfolgt durch Kürzung des Studienverlaufs des durch den Previous Case repräsentierten Studierenden um eine zufällige Anzahl X an Semestern und ist wie folgt realisiert: Nach der Erzeugung des Simulated Case als tiefe Kopie des Previous Case wird eine zufällige Anzahl an Referenzen auf Objekte der Klasse `CaseStudSemester` aus dem `HashSet`-Objekt `studSemester` des zur Beschreibung des Simulated Case gehörenden Objekts der Klasse `CaseStudHistory` (vgl. Kapitel

⁹¹ Previous Cases, die Alumni repräsentieren, sind in der Tabelle nicht aufgeführt.

6.3.2.1) gelöscht. Die Werte der Attribute des Objekts der Klasse `CaseStudHistory` werden anschließend neu berechnet. Der in Abbildung 7-2 dargestellte `Simulated Case A` wird bspw. als tiefe Kopie des `Previous Case A` erzeugt. Die Manipulation umfasst hier das Löschen der Referenz auf das Objekt `Semester 2 (SS 2013)` aus dem `HashSet`-Objekt `studSemester` des Objekts `History: B.Sc.WiWi`. Der `Previous Case` bleibt dabei unverändert. Er wird als Teststichprobe interpretiert, die u. a. Beobachtungswerte aus den Semestern $N + 1$ bis T umfasst, die bei der Erzeugung des `Simulated Case` aus dessen Beschreibung gelöscht wurden (`Semester 2` bzw. `Exam 2-1` und `Exam 2-2` in Abbildung 7-2).

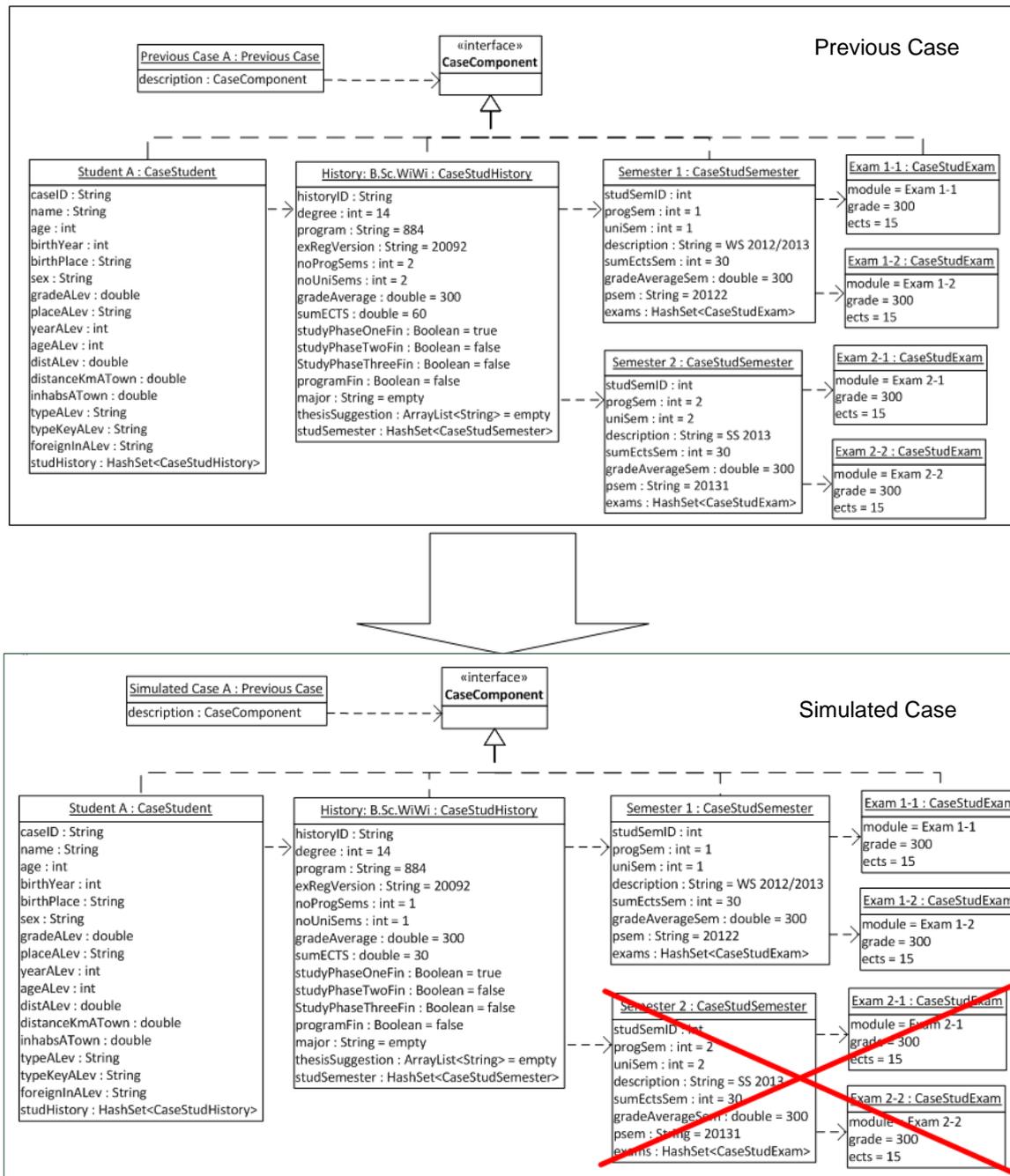


Abbildung 7-2: Erzeugung eines Simulated Case aus einem Previous Case

Quelle: Eigene Darstellung

Der Simulated Case wird im **vierten Schritt** der Prognosesimulation als zu lösendes Prognoseproblem betrachtet, dessen Lösung durch Ausführung der Subprozesse Retrieve bis OR-Revise des angepassten, erweiterten CBR-cycle erfolgt. Der Previous Case, durch dessen Manipulation der Simulated Case erzeugt wurde, wird dabei aus der Fallbasis ausgeschnitten, um eine Lösung des Simulated Case durch den Previous Case auszuschließen. Hierdurch wird ein realer Anwendungsfall simuliert, der dadurch gekennzeichnet ist, dass zu einem zu lösenden Query Case (hier zu einem Simulated Case) kein identischer Previ-

ous Case in der Fallbasis vorliegt. Der angestrebte Prognosehorizont entspricht X , d. h. der Anzahl an Semestern, um die der Previous Case gekürzt wurde. Wie in Kapitel 6.2 erläutert wurde, können einzelne Subprozesse über eine Benutzerschnittstelle konfiguriert werden. Bspw. sind die Auswahl eines Ähnlichkeitsmaßes sowie die Spezifikation der Anzahl an durch den Subprozess Repeat angestoßenen Iterationen möglich. Um einen Vergleich der Prognosegenauigkeit im Kontext verschieden konfigurierter Subprozesse zu ermöglichen, werden alle erläuterten Konfigurationsmöglichkeiten auch im Rahmen der Prognosesimulation geboten. Aus dem vierten Schritt resultiert ein Repaired Case, dessen Lösungsteil eine Prognose von Klausurbelegungen und deren Eigenschaften (z. B. Prüfungsnoten, Prüfungstermin, Prüfungsversuch, etc.) in mindestens einem der Semester repräsentiert, um die der durch den Previous Case repräsentierte Studienverlauf im dritten Schritt gekürzt wurde. Der Lösungsteil eines Repaired Case, der eine Lösung des in Abbildung 7-2 dargestellten Simulated Case darstellt, würde bspw. mindestens ein Objekt umfassen, das das SS 2013 repräsentiert und Referenzen auf Objekte enthält, die in diesem Semester voraussichtlich belegte Klausuren abbilden (vgl. Abbildung 7-3).

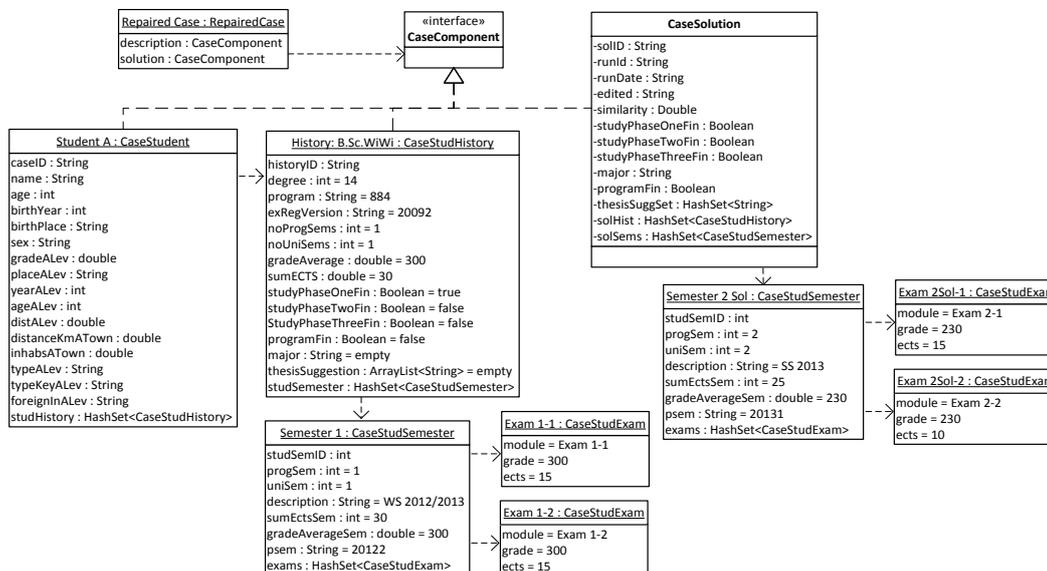


Abbildung 7-3: Aus der Prognosesimulation resultierender Repaired Case

Quelle: Eigene Darstellung

Der Subprozess ISP-Revise wird bei der Prognosesimulation aus drei Gründen nicht durchlaufen. Erstens führte die Einbindung dieses manuell durch einzelne Studierende anzustrebenden und durchzuführenden Prozesses (vgl. Kapitel 5.2.2.9; 6.3.3.9) zu einer drastischen Erhöhung der für die Durchführung der Prognosesimulation und damit der Evaluation aufzuwendenden Zeit. Aufgrund der notwendigen manuellen Anpassung der Lösungen wäre

ferner nicht mehr von einer Simulation zu sprechen. Zweitens ist zu erwarten, dass die Konfrontation von Studierenden mit individuell prognostizierten Studienverläufen Variationen des Studierverhaltens einzelner Studierender nach sich zieht. Bspw. könnte die Auseinandersetzung mit einem prognostizierten Nichtbestehen einer Klausur oder mit einer prognostizierten hohen Studiendauer zu höheren Anstrengungen des Studierenden führen. Um diese Variationen bei der Ergebnisinterpretation berücksichtigen zu können, müssten sie zunächst empirisch erhoben werden. Drittens müsste der Teil der Web-Anwendung, der den Subprozess ISP-Revise realisiert, allen Studierenden, für die eine Prognose erstellt wird, zur Verfügung gestellt werden. Dies ist aus organisatorischen Gründen sowie aufgrund des Prototypenstatus der Anwendung zum Zeitpunkt der Durchführung der Evaluation nicht möglich.

Nach der Durchführung der Prognosesimulation liegen für alle in Schritt zwei ausgewählten Previous Cases Beobachtungs-Prognose-Paare vor: Beobachtungswerte sind Objekte bzw. Werte der Attribute von Objekten der Klassen `CaseStudSemester` und `CaseStudExam`, die der Beschreibung des Previous Case angehören. Sie stellen reale, nach Semestern gruppierte Klausurbelegungen und deren Eigenschaften dar. Im Beispiel des in Abbildung 7-2 dargestellten Previous Case sind dies die Objekte `Semester 2` bzw. `Exam 2-1` und `Exam 2-2`. Prognostizierte Klausurbelegungen und deren Eigenschaften für die Semester, um die der durch den Previous Case repräsentierte Studienverlauf gekürzt wurde, stellen Prognosewerte dar. Sie liegen in Form von Objekten bzw. Werten der Attribute von Objekten der Klassen `CaseStudSemester` und `CaseStudExam` vor, die zur Lösung des Repaired Case gehören. Im Beispiel des in Abbildung 7-3 dargestellten Repaired Case sind dies die Objekte `Semester 2 Sol` bzw. `Exam2Sol-1` und `Exam2Sol-2`. Damit ist das Ziel der Prognosesimulation, die Erzeugung von Beobachtungs-Prognose-Paaren, erreicht. Die Vorgehensweise zur Berechnung der ausgewählten Gütemaße auf Basis dieser Paare wird im folgenden Kapitel 7.1.3.3 erläutert.

7.1.3.3 Berechnung der Evaluationsmaße auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender

Um eine Bewertung der Prognosegenauigkeit aus mehreren inhaltlich unterschiedlichen Perspektiven vornehmen zu können, erfolgt die Berechnung der in 7.1.2 skizzierten Gütemaße und damit die Bewertung der Prognosegenauigkeit für die acht prognostizierten Merkmale *Anzahl Semester*, *Anzahl Klausurteilnahmen*, *Anzahl der Teilnahmen an Klau-*

suren, die zum selben Modul gehören wie eine beobachtete Klausur, Durchschnittsnoten und Anzahl an ECTS je Semester sowie Prüfungsnote, Prüfungszeitraum und Prüfungsversuch je Klausur. Diese Merkmale werden entweder durch Attribute der zur Lösung eines Repaired Case gehörenden Objekte repräsentiert und sind damit explizit Teil der Prognose (bspw. wird die Durchschnittsnote eines Semesters durch das Attribut `gradeAverageSemester` eines Objekts der Klasse `CaseStudSemester` repräsentiert), oder sie können aus diesen Attributen abgeleitet werden (z.B. entspricht die Anzahl an Klausurteilnahmen der Anzahl an in einem `HashSet`-Objekt `exams` eines Objekts der Klasse `CaseStudSemester` gespeicherten Referenzen). Ferner sind die genannten Merkmale relevant für die prognostische Fundierung der Kapazitätsplanung, bspw. finden sich die Anzahl Klausurteilnahmen sowie der Prüfungszeitraum zumindest implizit in Berichten wieder, die die prognostizierte Teilnehmerzahl an einzelnen Klausuren je Semester und ggf. Prüfungszeitraum (vgl. Kapitel 6.4.2) darstellen.

Als Basis der Berechnung der Gütemaße dienen die folgenden acht Prognosefehler, die für jedes im Rahmen der in Kapitel 7.1.3.2 erläuterten Prognosesimulation erzeugte Paar aus `Previous` und `Repaired Case` berechnet werden:

- die Abweichung der beobachteten und der prognostizierten Anzahl an Fachsemestern (im Folgenden *Anzahl-Semester-Fehler*), berechnet als Differenz der Anzahl an Objekten der Klasse `CaseStudSemester`, um die der `Previous Case` im Rahmen der Prognosesimulation gekürzt wurde, und der Anzahl an Objekten der Klasse `CaseStudSemester`, die zur Lösung des `Repaired Case` gehören;
- die Abweichung der Gesamtzahl beobachteter und prognostizierter Klausurteilnahmen je Fachsemester (im Folgenden *Anzahl-Klausuren-Fehler*), berechnet als Differenz der Anzahl an Objekten der Klasse `CaseStudExam`, um die der `Previous Case` im Rahmen der Prognosesimulation gekürzt wurde, und der Anzahl an Objekten der Klasse `CaseStudExam`, die zur Lösung des `Repaired Case` gehören;
- die Abweichung zwischen der Zahl beobachteter Klausurteilnahmen in einem Semester und der Zahl für dieses Semester prognostizierter Teilnahmen an Klausuren, die zum gleichen Modul gehören wie eine der beobachteten Klausuren (im Folgenden *Anzahl-korrekte-Klausuren-Fehler*), berechnet als Differenz der Anzahl an Objekten der Klasse `CaseStudExam`, um die der `Previous Case` im Rahmen der Prognosesimulation gekürzt wurde, und der Anzahl an Objekten der Klasse `CaseStudExam`, die zur Lösung des `Repaired Case` gehören und deren Wert des Attri-

buts module äquivalent (vgl. Kapitel 5.2.2.7; 6.3.2.2) zum oder gleich dem Wert des Attributs `module` eines Objekts der Klasse `CaseStudExam` ist, das im Rahmen der Prognosesimulation aus der Beschreibung des `Previous Case` entfernt wurde;

- die Abweichung zwischen der beobachteten Durchschnittsnote in einem Semester und der für das Semester prognostizierten Durchschnittsnote (im Folgenden *Durchschnittsnoten-Fehler*), berechnet als Differenz der Werte der Attribute `gradeAverageSemester` eines Objekts der Klasse `CaseStudSemester`, um das der `Previous Case` im Rahmen der Prognosesimulation gekürzt wurde, und des entsprechenden Objekts der Klasse `CaseStudSemester`, das zur Lösung des `Repaired Case` gehört;
- die Abweichung zwischen der beobachteten Anzahl in einem Semester erworbener ECTS und der für das Semester prognostizierten Anzahl an ECTS (im Folgenden *ECTS-Fehler*), berechnet als Differenz der Werte der Attribute `sumEctsSem` eines Objekts der Klasse `CaseStudSemester`, um das der `Previous Case` im Rahmen der Prognosesimulation gekürzt wurde, und des entsprechenden Objekts der Klasse `CaseStudSemester`, das zur Lösung des `Repaired Case` gehört;
- die Abweichung zwischen der beobachteten und der prognostizierten Note einer Klausur (im Folgenden *Klausurnoten-Fehler*), berechnet als Differenz der Werte der Attribute `grade` eines Objekts der Klasse `CaseStudExam`, um das der `Previous Case` im Rahmen der Prognosesimulation gekürzt wurde, und des entsprechenden Objekts der Klasse `CaseStudExam`, das zur Lösung des `Repaired Case` gehört;
- die Abweichung zwischen dem beobachteten und dem prognostizierten Prüfungszeitraum, in dem an einer Klausur teilgenommen wird (im Folgenden *Prüfungszeitraum-Fehler*), berechnet als Differenz der Werte der Attribute `exPhase` eines Objekts der Klasse `CaseStudExam`, um das der `Previous Case` im Rahmen der Prognosesimulation gekürzt wurde, und des entsprechenden Objekts der Klasse `CaseStudExam`, das zur Lösung des `Repaired Case` gehört;
- die Abweichung zwischen dem beobachteten und dem prognostizierten Prüfungsversuch eines Studierenden an einer Klausur (im Folgenden *Prüfungsversuch-Fehler*), berechnet als Differenz der Werte der Attribute `attempt` eines Objekts der Klasse `CaseStudExam`, um das der `Previous Case` im Rahmen der Prognosesimulation gekürzt wurde, und des entsprechenden Objekts der Klasse `CaseStudExam`, das zur Lösung des `Repaired Case` gehört;

sesimulation gekürzt wurde, und des entsprechenden Objekts der Klasse `CaseStudExam`, das zur Lösung des `Repaired Case` gehört.

Die Berechnung der ausgewählten Gütemaße erfolgt entsprechend der in Kapitel 7.1.2 skizzierten Berechnungsvorschriften durch Bildung von Mittelwerten bzw. Ermittlung von Medianen der beschriebenen Prognosefehler über alle im Rahmen der Prognosesimulation erzeugten Paare aus `Previous` und `Repaired Cases`. Dabei ist bezüglich der Prognosefehler *Anzahl-Klausuren-Fehler*, *Anzahl-korrekte-Klausuren-Fehler*, *Durchschnittsnoten-Fehler*, *ECTS-Fehler*, *Prüfungszeitraum-Fehler*, *Klausurnoten-Fehler* und *Prüfungsversuch-Fehler* zu beachten, dass diese für alle zur Lösung eines `Repaired Case` gehörenden Objekte der Klassen `CaseStudSemester` und `CaseStudExam` berechnet werden. Für einen `Repaired Case` liegen daher erstens abhängig von der Anzahl an Fachsemestern, für die eine Prognose erstellt wurde, mehrere *Anzahl-Klausuren-Fehler*, *Anzahl-korrekte-Klausuren-Fehler*, *Durchschnittsnoten-Fehler* und *ECTS-Fehler* vor. Zweitens liegen abhängig von der Anzahl an Klausuren, für die je Fachsemester eine Teilnahme prognostiziert wurde, mehrere *Prüfungszeitraum-Fehler*, *Klausurnoten-Fehler* und *Prüfungsversuch-Fehler* vor. Die Berechnung der Gütemaße erfolgt daher rekursiv: zunächst werden die Gütemaße je Beobachtungs-Prognose-Paar (je Paar aus `Previous` und `Repaired Case`) durch Mittelwertbildung bzw. Bestimmung des Medians über alle zur Lösung eines `Repaired Case` gehörende Fachsemester bzw. Klausuren bestimmt. Basierend auf diesen Gütemaßen sowie dem für jedes Paar aus `Previous` und `Repaired Case` ermittelten *Anzahl-Semester-Fehler* erfolgt im Anschluss die Berechnung der Gütemaße über alle Paare aus `Previous` und `Repaired Cases`.

Im Ergebnis liegen für jedes der betrachteten Merkmale vier Gütemaße vor. Diese werden gruppiert nach der Anzahl an Semestern ausgewiesen, die im Rahmen der Prognosesimulation aus der Beschreibung von `Previous Cases` entfernt wurden, um eine Beurteilung der Prognosegenauigkeit im Kontext des Prognosehorizonts (der angestrebte Prognosehorizont entspricht der Anzahl entfernter Semester, vgl. Kapitel 7.1.3.2) zu ermöglichen. Ferner erfolgt ein Ausweis in über alle Prognosehorizonte und – ausschließlich für die relativen Gütemaße – über alle Merkmale kumulierter Form. Die Ergebnisse werden in Kapitel 7.2.1 detailliert vorgestellt und interpretiert.

7.1.3.4 Prognosesimulation zur Ermittlung von Beobachtungs-Prognose-Paaren für die Bewertung der Prognosegenauigkeit im Vergleich mit einem Referenzverfahren

Zur vergleichenden Bewertung der auf Basis des realisierten Konzepts erstellten Prognosen und den Ergebnissen eines Referenzverfahrens (Benchmark) ist zunächst die sachlich begründete Auswahl eines solchen Benchmarks erforderlich (vgl. Küsters, 2012, S. 436). Die verbreiteten, kausalen, auf Markov-Ketten basierenden Prognosemethoden scheiden aufgrund des mit ihrer Durchführung verbundenen Aufwands und ihrer Komplexität (vgl. Kapitel 3.3.1) als Benchmark aus. Die von Gaither u. a. (1981) vorgeschlagene Anwendung von Regressionsanalysen zur Prognose von Studierendenzahlen ist, wie in Kapitel 3.3.1 gezeigt, grundsätzlich zur Prognose von Teilnehmerzahlen auf dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren geeignet. Voraussetzung ist die Existenz klausurspezifischer Zeitreihen historischer Teilnehmerzahlen. Diese Voraussetzung ist an der Universität Osnabrück erfüllt, die Zahl der Klausurteilnehmer je Semester ist in einem zentralen DWH dokumentiert. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse einer Prognosesimulation auf Basis einer Regressionsanalyse mit denen der Prognosesimulation mittels des Prototyps sicherzustellen, wurden die benötigten Zeitreihen der Teilnehmerzahlen nicht aus dem zentralen DWH extrahiert. Vielmehr basieren sie auf der Aggregation individueller, historischer Klausurteilnahmen, die durch die Beschreibungen der vom Prototyp verwendeten Previous Cases repräsentiert sind. Hieraus resultieren klausur- und prüfungsterminspezifische Zeitreihen. Durch deren Verwendung ist sichergestellt, dass die auf der Regressionsanalyse basierende Prognose nicht durch Teilnehmerzahlen beeinflusst wird, die Studierende berücksichtigen, die nicht dem Fachbereich Wirtschaftswissenschaften bzw. dem Bachelorstudiengang Wirtschaftswissenschaft angehören. Die betrachteten Previous Cases repräsentieren u. a. auch anerkannte Studienleistungen, wobei der Zeitpunkt der Anerkennung einer Studienleistung nicht zwingend mit dem Zeitpunkt übereinstimmt, zu dem die entsprechende Klausur regulär angeboten wird. Daher weisen die durch Aggregation generierten Zeitreihen zum Teil sehr kleine Teilnehmerzahlen der betrachteten WS-Klausuren für SS aus (Saisonschwankungen). Um einen Einfluss dieser Saisonschwankungen zu vermeiden, werden Teilnehmerzahlen aus SS aus den Zeitreihen entfernt, es erfolgt damit eine Saisonbereinigung der Zeitreihen, die bei der Ergebnisinterpretation zu berücksichtigen ist. Die aus der Aggregation und Bereinigung resultierenden klausur- und prüfungszeitraumspezifischen

Zeitreihen finden sich in Anhang II.⁹² Beispielhaft sind in Abbildung 7-4 die Zeitreihen der Teilnehmerzahlen des ersten Prüfungstermins der Klausuren Economics_B_III, Management_B_II, Recht_B_I, Economics_B_VII, Management_B_VI und Accounting_B_III grafisch dargestellt. Offensichtlich stehen die Teilnehmerzahlen in einer nichtlinearen Beziehung mit der Zeit. Die Plots aller Zeitreihen deuten auf ein andauerndes Wachstum der Teilnehmerzahlen hin. Dabei scheinen sich die Teilnehmerzahlen der Klausuren Economics_B_III, Management_B_II und Recht_B_I stetig, jedoch mit abnehmender Steigung gegen einen Grenzwert zu bewegen. Hier ist folglich von einem degressiven Wachstum auszugehen, das durch eine konkave Funktion beschrieben werden kann. Dem gegenüber deutet der Verlauf der Plots der Teilnehmerzahlen an den Klausuren Economics_B_VII, Management_B_VI und Accounting_B_III auf ein progressives Wachstum hin, das durch eine konvexe Funktion zu beschreiben ist.

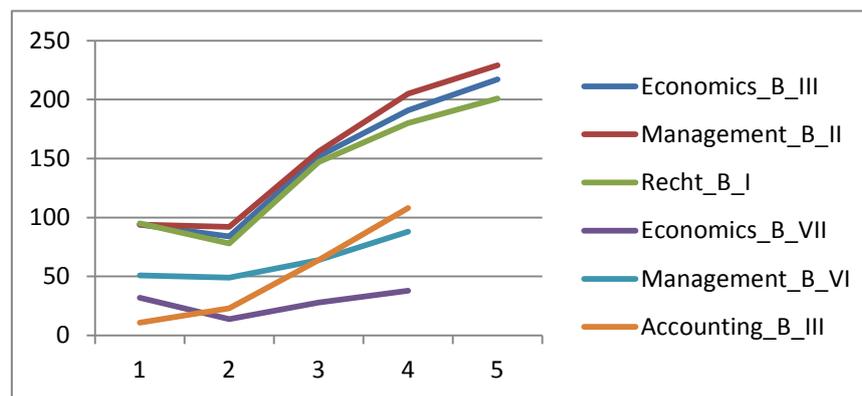


Abbildung 7-4: Zeitreihen der Teilnehmerzahlen ausgewählter Klausuren im ersten Prüfungstermin

Quelle: Eigene Darstellung

Die auf Basis der Visualisierung der Zeitreihen getroffene Annahme der Nichtlinearität der Zeitreihen wird durch die Untersuchungen von Gaither u. a. (1981) gestützt. Sie haben gezeigt, dass insbesondere nichtlineare Regressionsfunktionen der Form $y = a * x^b$ zur Prognose von Studierendenzahlen geeignet sind (vgl. Gaither u. a., 1981, S. 222 ff.). Regressionsfunktionen dieser Form sind zur Beschreibung sowohl degressiven (Funktionen

⁹² Betrachtet werden ausschließlich Teilnehmerzahlen der Klausuren des dritten und fünften Fachsemesters des Bachelorstudiengangs Wirtschaftswissenschaft. Teilnehmerzahlen der Klausuren des ersten Fachsemesters bleiben unberücksichtigt, da diese maßgeblich durch nicht vollständig zu erfassende, exogene Einflussfaktoren auf die Anzahl der Studienanfänger determiniert sind. Bis zum Zeitpunkt der Durchführung der Evaluation lagen für die betrachteten Klausuren Beobachtungswerte für drei bis fünf Semester vor. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Bachelorstudiengang Wirtschaftswissenschaft an der Universität Osnabrück zum Wintersemester 2007/2008 eingerichtet wurde. Die Klausuren des dritten bzw. fünften Fachsemesters wurden folglich erstmals im Wintersemester 2008/2009 bzw. im Wintersemester 2009/2010 angeboten. Wie Gaither u. a. (1981) zeigen, reichen jedoch derart kurze Zeitreihen aus, um auf Basis der Regressionsanalyse zuverlässige Prognosen erstellen zu können.

mit $0 < b < 1$) als auch progressiven Wachstums (Funktionen mit $b > 1$) geeignet. Folglich erscheint die Verwendung derartiger Regressionsfunktionen als Benchmark zur Erstellung von Prognosen auf dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren je Prüfungstermin sinnvoll. Zur Schätzung der genannten Regressionsfunktion sind spezialisierte Klassenbibliotheken frei verfügbar, so dass der Benchmark mit vertretbarem Aufwand zu realisieren ist.

Eine vergleichende Bewertung der Prognosegenauigkeit setzt die Berechnung der in Kapitel 7.1.2 ausgewählten Gütemaße auf Basis von vergleichbaren Beobachtungs-Prognose-Paaren voraus, die einerseits mittels des Benchmarks und andererseits unter Einsatz des realisierten Prototyps erstellt wurden. Die Erstellung derartiger Paare steht im Mittelpunkt der weiteren Ausführungen dieses Kapitels.

Prognosesimulation auf Basis einer Regressionsanalyse

Zum Zweck der Prognosesimulation wurden die je Klausur und Prüfungszeitraum ermittelten Zeitreihen in jeweils eine Kalibrationsstichprobe und eine Teststichprobe (vgl. Kapitel 7.1.3.1) zerlegt. Die Kalibrationsstichproben umfassen alle Beobachtungswerte der Teilnehmerzahlen mit Ausnahme derjenigen aus dem WS 2012/2013. Letztere bilden jeweils die Teststichprobe. Die in Anhang II dargestellte Zeitreihe der Klausur Management_B_II für den Prüfungszeitraum 01 wird bspw. in eine Kalibrationsstichprobe $\{94_{2008/2009}, 92_{2009/2010}, 156_{2010/2011}, 205_{2011/2012}\}$ und eine Teststichprobe $\{229_{2012/2013}\}$ zerlegt.

Auf Basis der Kalibrationsstichproben werden klausur- und prüfungszeitraumsspezifische Regressionsfunktionen $y = a * x^b$ geschätzt⁹³, wobei die Zeit als unabhängige Variable x und die Teilnehmerzahl als abhängige Variable y dient. Damit liegt ein Spezialfall der Regressionsanalyse, die Zeitreihenanalyse, vor (vgl. Backhaus u. a., 2011, S. 57; Kapitel 2.2.2.3). Die aus der Schätzung resultierenden klausur- und prüfungsterminspezifischen Regressionsfunktionen sind in Anhang III aufgeführt. Sie wurden verwendet, um Prognosewerte $f_{2012/2013}$ der Teilnehmerzahlen je Klausur und Prüfungstermin für das WS 2012/2013 zu erstellen. Beobachtungswerte für dieses Semester liegen mit den klausur-

⁹³ Für die Schätzung wurde die Methode `getPowerRegression(double[][] data)` der Klasse `org.jfree.data.statistics.Regression` verwendet, die in der frei verfügbaren Java-Bibliothek `jFreeChart` bereitgestellt wird. Das als Parameter übergebene, zweidimensionale Array `data` stellt dabei die Zeitreihe dar, auf deren Basis die Regressionsfunktion geschätzt wird – im vorliegenden Anwendungsfall eine Kalibrationsstichprobe.

und prüfungszeitraumspezifischen Teststichproben vor. Damit ist das Ziel der Prognosesimulation, die Erzeugung von Beobachtungs-Prognose-Paaren, erreicht.

Prognosesimulation mittels des Prototyps

Die Vorgehensweise zur Erstellung von Prognosen auf dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren unter Einsatz des Prototyps erfolgt in enger Anlehnung an das in Kapitel 7.1.3.2 erläuterte Verfahren und ist in Abbildung 7-5 dargestellt.

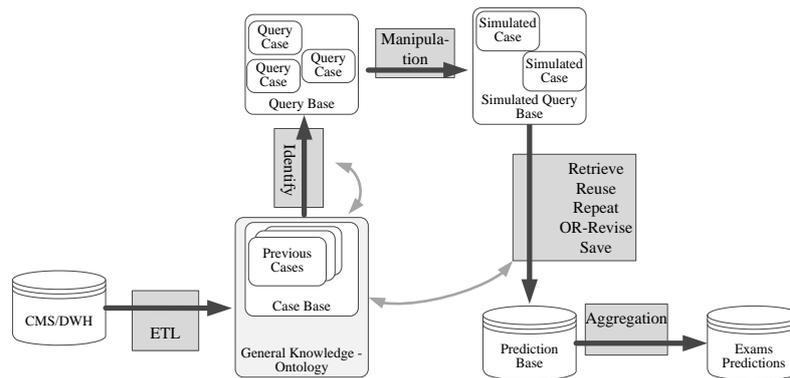


Abbildung 7-5: Prognosesimulation mit dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren auf Basis des Prototypen

Quelle: Eigene Darstellung

Die in Kapitel 7.1.3.2 charakterisierten 1160 Previous Cases bilden auch bei der Prognosesimulation mit dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren den Ausgangspunkt. Aus der in einem *ersten* Schritt aufgebauten Fallbasis werden in einem *zweiten Schritt* diejenigen Previous Cases ausgewählt, die Studierende repräsentieren, die bis zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung ihr Studium nicht abgeschlossen haben. Dieser zweite Schritt entspricht exakt dem in Kapitel 6.3.3.2 erläuterten, realisierten Subprozess Identify. Die im Resultat dieses Schritts in einer Query Base vorliegenden Query Cases werden in einem *dritten Schritt* manipuliert, um Simulated Cases zu erzeugen. Dieser Schritt verfolgt im Wesentlichen das gleiche Ziel wie die in Kapitel 7.1.3.2 diskutierte Manipulation. Der Unterschied besteht darin, dass jeder Query Case um genau ein Semester gekürzt wird. Ein Simulated Case repräsentiert folglich einen Studierenden samt dessen bis zum Beginn des WS 2012/2013 realisierten Studienverlauf. Die aus diesem Schritt resultierenden Simulated Cases werden in einer Simulated Query Base vorgehalten und jeder von ihnen wird im *vierten Schritt* der Prognosesimulation durch Ausführung der Subprozesse Retrieve bis Save des angepassten, erweiterten CBR-cycle gelöst. Aus den in Kapitel 7.1.3.2 genannten Gründen wird auch im Rahmen der hier diskutierten Prognosesimulation auf die Durchführung des Subprozesses ISP-Revise verzichtet. Im Resultat liegen in der Prediction Base

Prognosen der Klausurbelegungen für alle durch Simulated Cases repräsentierte Studierende vor. Diese werden in einem *fünften Schritt* auf das Aggregationsniveau einzelner Klausuren aggregiert. Ebenfalls auf dieses Niveau aggregiert werden die Beobachtungswerte, d. h. die zu den Beschreibungen der verfügbaren Previous Cases gehörenden Klausurbelegungen des WS 2012/2013. Hieraus resultieren zu jeder für den Bachelorstudiengang Wirtschaftswissenschaft der Universität Osnabrück im WS 2012/2013 regulär angebotenen Klausur beobachtete Teilnehmerzahlen⁹⁴ sowie simulierte Prognosen der Teilnehmerzahlen, mithin Beobachtungs-Prognose-Paare, auf deren Basis die Gütemaße berechnet werden können.

7.1.3.5 Berechnung der Evaluationsmaße auf dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren

Die Berechnung der in Kapitel 7.1.2 erläuterten Gütemaße erfolgt auf dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren, basierend auf klausur- und prüfungsterminspezifisch berechneten Prognosefehlern. Für jede Klausur wird für jeden Prüfungstermin zunächst der absolute Prognosefehler berechnet, d. h. die absolute Abweichung zwischen einem in einer Teststichprobe vorliegenden Beobachtungswert $x_{2012/2013}$ und den durch die jeweilige Prognosemethode prognostizierten Wert $f_{2012/2013}$. Ferner erfolgt die klausur- und prüfungszeitraumspezifische Berechnung symmetrischer absoluter prozentualer Prognosefehler. Der MAP und der MdAP werden anschließend prüfungsterminspezifisch durch Bildung des Mittelwerts bzw. durch Bestimmung des Medians über die für den jeweiligen Prüfungstermin ermittelten Prognosefehler bestimmt. Entsprechend erfolgt auch eine prüfungsterminspezifische Bestimmung des MRASP und des MdRASP durch Bildung des Mittelwerts bzw. durch Bestimmung des Medians über die für den jeweiligen Prüfungstermin ermittelten symmetrischen absoluten prozentualen Prognosefehler. Sämtliche Prognosefehler, symmetrische absolute prozentuale Prognosefehler sowie MAPs, MdAPs, MRASPs und MdRASPs werden gemeinsam in einem Standardbericht ausgewiesen und in Kapitel 7.2.2 detailliert vorgestellt und interpretiert.

⁹⁴ Da die im Rahmen der Prognosesimulation mittels der Regressionsanalyse ermittelten Zeitreihen ebenfalls aus einer Aggregation der Klausurteilnahmen durch Previous Cases repräsentierter Studierender im Wintersemester 2012/2013 resultieren, entsprechen die ermittelten Beobachtungswerte den durch Zerlegung der Zeitreihen erzeugten klausur- und prüfungszeitraumspezifischen Teststichproben.

7.2 Ergebnisse und Interpretation

7.2.1 Analyse der Prognosegenauigkeit auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender

Die auf Basis der Ergebnisse der Prognosesimulation mit dem Aggregationsniveau einzelner Studierender je Prognosehorizont und prognostiziertem Merkmal berechneten Gütemaße sind in jeweils einer Kreuztabelle in Abbildung 7-6 dargestellt. Details zur Prognosesimulation zugrundeliegenden Konfiguration der CBR-Komponente finden sich in Anhang IV. Als Interpretationshilfe dient das von Lewis (1998) vorgeschlagene und von Küsters (2012) aufgegriffene Interpretationsmuster, demzufolge der Mittlere relative absolute Prognosefehler (hier in äquivalenter Anwendung der MRASP) wie folgt zu bewerten ist:

- $MRASP < 10\%$ sehr gut,
- $10\% \leq MRASP < 20\%$ gut,
- $20\% \leq MRASP < 30\%$ brauchbar,
- $MRASP \geq 30\%$ ungenau (vgl. Küsters, 2012, S. 436).

Die erste Zeile jeder in Abbildung 7-6 dargestellten Kreuztabelle gibt Aufschluss über die Anzahl an Beobachtungs-Prognose-Paaren je angestrebtem Prognosehorizont. Insgesamt wurden die Lösungen von 213 Repaired Cases gegen beobachtete Werte evaluiert. Ein Prognosehorizont von einem Semester wurde von 111 und damit der Mehrzahl der zu lösenden Cases angestrebt. Ein Prognosehorizont von zwei, drei oder fünf Semestern wurde jeweils 20 Mal angestrebt, 36 Cases sollten einen Prognosehorizont von vier Semestern erreichen, während ein Prognosehorizont von sechs Semestern von sechs Fällen realisiert werden sollte. Die berechneten Gütemaße sind je Merkmal und Prognosehorizont sowie aggregiert über alle Prognosehorizonte dargestellt. Dabei sind die Merkmale – den Konventionen des Prototyps folgend – mit ihren englischsprachigen Bezeichnungen ausgewiesen.

MAP								MdAP							
Attributes	Cut off semesters (equals forecast horizon)							Attributes	Cut off semesters (equals forecast horizon)						
	1	2	3	4	5	6	ALL		1	2	3	4	5	6	ALL
Cases evaluated	111,000	20,000	20,000	36,000	20,000	6,000	213,000	Cases evaluated	111,000	20,000	20,000	36,000	20,000	6,000	213,000
Number of Semesters	2,252	0,350	0,700	0,917	1,200	1,833	1,592	Number of Semesters	2,000	0,000	0,500	0,500	1,000	1,000	1,000
ECTS in Semester	13,622	6,150	9,767	10,505	8,882	13,900	11,594	ECTS in Semester	15,000	0,000	2,000	0,000	10,000	10,000	5,000
Grade Average in Semester	147,240	53,556	95,569	108,517	92,192	137,145	121,594	Grade Average in Semester	90,000	11,889	51,500	66,667	67,407	79,667	63,333
Number of correct Exams	1,495	1,150	1,275	1,701	1,593	1,900	1,498	Number of correct Exams	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	2,000	1,000
Total Number of Exams	1,577	1,225	1,442	1,419	1,282	1,306	1,469	Total Number of Exams	2,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Average Grade of Exams	21,121	64,250	59,778	85,525	95,445	102,497	48,490	Average Grade of Exams	70,000	40,000	60,000	70,000	70,000	70,000	70,000
Attempts of Exams	0,091	0,100	0,205	0,218	0,313	0,229	0,147	Attempts of Exams	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Phase of Exams	0,091	0,133	0,254	0,240	0,372	0,300	0,166	Phase of Exams	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

MRASP								MdRASP							
Attributes	Cut off semesters (equals forecast horizon)							Attributes	Cut off semesters (equals forecast horizon)						
	1	2	3	4	5	6	ALL		1	2	3	4	5	6	ALL
Cases evaluated	111,000	20,000	20,000	36,000	20,000	6,000	213,000	Cases evaluated	111,000	20,000	20,000	36,000	20,000	6,000	213,000
Number of Semesters	32,760	4,075	9,492	9,527	10,949	19,317	21,528	Number of Semesters	33,333	0,000	5,556	3,846	9,091	8,392	11,111
ECTS in Semester	51,291	17,923	31,328	28,576	23,153	42,253	39,547	ECTS in Semester	50,000	0,000	3,125	0,000	14,894	20,000	10,204
Grade Average in Semester	44,384	15,127	26,866	26,953	22,272	36,563	34,749	Grade Average in Semester	100,000	19,527	10,886	13,656	14,286	17,175	19,355
Number of correct Exams	15,750	11,265	16,830	23,426	28,234	37,705	18,518	Number of correct Exams	14,286	0,000	11,111	14,286	20,000	33,333	14,286
Total Number of Exams	15,650	20,719	38,256	48,212	68,411	87,882	30,741	Total Number of Exams	14,286	11,111	14,286	11,111	14,286	11,111	11,111
Average Grade of Exams	3,741	13,577	13,176	17,583	19,760	19,954	9,747	Average Grade of Exams	14,286	13,208	10,448	14,286	15,625	13,747	13,333
Attempts of Exams	3,037	3,333	6,705	7,208	10,275	7,619	4,871	Attempts of Exams	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Phase of Exams	3,037	4,444	8,352	7,829	12,197	10,003	5,465	Phase of Exams	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL	21,967	5,804	12,564	13,712	12,529	23,943	17,341	TOTAL	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Results are given in percent.

Abbildung 7-6: Auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender erhobene Gütemaße
Quelle: Eigene Darstellung

Da das oben angeführte Interpretationsmuster ausschließlich auf den MRASP abzielt und ein Vergleich oder eine Aggregation der Werte des MAP und des MdAP über die verschiedenen betrachteten Merkmale aufgrund der Skalenabhängigkeit dieser Gütemaße wenig sinnvoll erscheint (vgl. Hyndman & Koehler, 2006, S. 682), fokussieren die weiteren Ausführungen die Interpretation der im linken unteren Quadranten dargestellten Ergebnisse der Berechnung des MRASP.

In der Zeile „Number of Semester“ finden sich die auf Basis des Anzahl-Semester-Fehlers (vgl. Kapitel 7.1.3.3) berechneten und je Prognosehorizont sowie aggregiert ausgewiesenen MRASPs für das Merkmal Anzahl Semester. Mit einem Wert von ca. 33% ist die Prognosegenauigkeit im Hinblick auf dieses Merkmal bei einem Prognosehorizont von nur einem Semester am schlechtesten und gemäß dem Interpretationsmuster als ungenau zu bewerten. Die hohe Ungenauigkeit ist darauf zurückzuführen, dass der Prognosehorizont nicht ex-ante festgelegt werden kann, sondern vielmehr je Query (bzw. Simulated) Case und einem zu dessen Lösung wiederverwendeten Previous Case divergiert (vgl. Kapitel 5.2.2.6). In der Folge ist gerade bei der Evaluation von Simulated Cases, die einen gegenüber einem Previous Case um ein Semester gekürzten Studienverlauf repräsentieren, mit einer Überschreitung des angestrebten Prognosehorizonts, d. h. einer zu hohen Anzahl an zur Lösung gehörenden Semestern, zu rechnen. Am niedrigsten ist dieser Wert für einen angestrebten Prognosehorizont von zwei Semestern (ca. 4%). Sehr gute Ergebnisse werden

auch für angestrebte Prognosehorizonte von drei und vier Semestern erzielt. Aus diesen Ergebnissen kann darauf geschlossen werden, dass der Prototyp für eine Vielzahl zu lösender Simulated Cases Previous Cases verwendet, deren Lösung, mithin der durch ihre Wiederverwendung realisierbare Prognosehorizont, zwischen zwei und vier Semestern umfasst. Diese Schlussfolgerung erscheint insbesondere vor dem Hintergrund der in Kapitel 7.1.3.2 erläuterten Struktur der genutzten Fallbasis gerechtfertigt. Die Mehrzahl an Previous Cases repräsentiert Studierende, die sich im zweiten bis vierten Semester befinden. Die Wahrscheinlichkeit, dass einer dieser Cases zur Lösung eines Simulated Case herangezogen wird, ist daher verglichen mit den anderen Gruppen der Previous Cases hoch. Aggregiert über alle angestrebten Prognosehorizonte ist die Prognosegenauigkeit im Hinblick auf dieses Merkmal als brauchbar ($MRASP = 21,528\%$) einzustufen.

Von besonderem Interesse für die Beurteilung der Prognosegenauigkeit im Kontext der hochschulinternen Kapazitätsplanung sind ferner die für die Merkmale „Number of correct Exams“ (Anzahl der Teilnahmen an Klausuren, die zum selben Modul gehören wie eine beobachtete Klausur) und „Total Number of Exams“ (Anzahl Klausurteilnahmen) ausgewiesenen MRASPs. Denn die Prognosefehler hinsichtlich der Anzahl für einzelne Studierende prognostizierter Klausuren determinieren aufgrund der im Konzept vorgesehenen Aggregationen die Prognosefehler bspw. hinsichtlich der Teilnehmerzahlen an Klausuren in entscheidender Weise.

Die für das erstere Merkmal aufgeführten Werte wurden auf Basis des Anzahl-korrekte-Klausuren-Fehlers (vgl. Kapitel 7.1.3.3) berechnet und geben folglich Aufschluss über die mittlere prozentuale Abweichung zwischen der je Semester beobachteten Zahl an Klausurteilnahmen und der Zahl für das Semester prognostizierter Teilnahmen an Klausuren, die zum gleichen Modul gehören, wie eine der beobachteten Klausuren. Die Prognosegenauigkeit ist im Hinblick auf dieses Merkmal aggregiert über alle angestrebten Prognosehorizonte als gut einzustufen ($MRASP \leq 20\%$). Wie zu erwarten nimmt die Genauigkeit mit steigendem Prognosehorizont ab. Während sie für angestrebte Prognosehorizonte bis einschließlich drei Semester als gut einzustufen ist, liegen für einen angestrebten Prognosehorizont von sechs Semestern ungenaue Prognosen vor. Zu berücksichtigen ist jedoch die vergleichsweise geringe Anzahl an Simulated Cases, mit denen ein solch hoher Prognosehorizont angestrebt wurde.

Ähnliche Ergebnisse zeigen sich für die auf Basis des Anzahl-Klausuren-Fehlers (vgl. Kapitel 7.1.3.3) ermittelten MRASPs, die in der Zeile „Total Number of Exams“ aufgeführt

sind. Aggregiert über alle angestrebten Prognosehorizonte ist die Prognosegenauigkeit im Hinblick auf dieses Merkmal an der Grenze von brauchbar zu ungenau ($MRASP = 30,741$). Die Werte der für dieses Merkmal ermittelten MRASPs liegen stets über denen der auf Basis des Anzahl-korrekte-Klausuren-Fehlers ermittelten MRASPs. Hieraus ist auf eine Überprognose im Sinne einer Prognose von Teilnahmen an einer zu großen Anzahl an Klausuren zu schließen: Während die niedrigen MRASPs auf Basis des Anzahl-korrekte-Klausuren-Fehlers zeigen, dass die tatsächlich belegten Klausuren vergleichsweise genau prognostiziert werden, weisen die höheren MRASPs auf Basis des Anzahl-Klausuren-Fehlers darauf hin, dass zusätzlich Teilnahmen an Klausuren prognostiziert werden, die nicht beobachtet werden können.

Die insbesondere bei großen angestrebten Prognosehorizonten zu beobachtende große prozentuale Abweichung der prognostizierten von den beobachteten Klausurteilnahmen ist durch die im oberen linken Quadranten der Abbildung 7-6 für das Merkmal ausgewiesenen MAPs zu relativieren. Diese zeigen eine nahezu konstante absolute Abweichung (ca. eine Klausur je repräsentiertem Studierenden) der Anzahl der prognostizierten Klausurteilnahmen von der Anzahl der beobachteten Klausurteilnahmen. Es liegt folglich eine systematische Verzerrung der Prognosen vor. In Verbindung mit den diskutierten Abweichungen zwischen den auf Basis des Anzahl-korrekte-Klausuren-Fehlers bzw. des Anzahl-Klausuren-Fehlers ermittelten MRASPs kann von einer systematischen Überprognose ($f_j > x_j$) ausgegangen werden.

Im Hinblick auf die beiden die Anzahl prognostizierter Klausuren fokussierenden Merkmale kann eine Ursache für die Ungenauigkeit in der Konfiguration des im Rahmen der Prognosesimulation ausgeführten Subprozesses Retrieve verwendeten Ähnlichkeitsmaßes (vgl. Anhang IV) gesehen werden. Das zugrundeliegende rekursive Lokal-Global Prinzip führt zu einer überproportionalen Gewichtung einfacher Attribute von Objekten in der Zerlegungshierarchie eines Falls auf höheren Ebenen stehender Klassen (vgl. Kapitel 4.2.2.4). D. h. einfache Attribute von Objekten der Klasse `CaseStudent` wurden bei der Bestimmung der Ähnlichkeit zwischen `Simulated` und `Previous Case` im Rahmen der Prognosesimulation bspw. gegenüber denen der Objekte der Klasse `CaseStudExam` überproportional gewichtet. Personenbezogene Attribute spielten folglich bei der Auswahl eines Retrieved Case eine größere Rolle als realisierte Studienverläufe. Um den Einfluss der Ähnlichkeitsberechnung auf die Ergebnisse nachzuweisen, wurde eine zweite Prognosesimulation durchgeführt, bei der im Rahmen des Subprozesses Retrieve das in Kapitel

5.2.2.4 vorgestellte angepasste Lokal-Global Prinzip eingesetzt wurde und eine hohe Gewichtung studienverlaufsbezogener Fallattribute erfolgte. Nähere Angaben zu dieser Konfiguration finden sich in Anhang V. In Abbildung 7-7 sind die auf Basis der Ergebnisse dieser zweiten Prognosesimulation berechneten MRASPs dargestellt.

Attributes	Cut off semesters (equals forecast horizon)						
	1	2	3	4	5	6	ALL
Cases evaluated	112,000	24,000	14,000	35,000	18,000	10,000	213,000
Number of Semesters	37,342	5,012	8,135	9,236	11,791	11,781	23,802
ECTS in Semester	62,226	19,672	8,766	22,331	30,106	29,535	43,113
Grade Average in Semester	58,415	16,598	6,690	21,619	31,528	23,612	40,351
Number of correct Exams	14,961	7,417	14,942	19,219	24,737	35,303	16,590
Total Number of Exams	15,881	13,923	23,098	48,323	59,641	72,314	27,813
Average Grade of Exams	3,549	12,997	14,966	17,957	20,188	21,757	10,120
Attempts of Exams	1,229	6,850	7,778	8,864	6,583	4,738	4,191
Phase of Exams	1,950	6,850	8,451	9,194	7,956	5,649	4,828
TOTAL	26,594	6,079	3,732	10,856	15,384	13,351	18,625

Results are given in percent.

Abbildung 7-7: Auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender bei Verwendung des angepassten Lokal-Global Prinzips ermittelte MRASPs

Quelle: Eigene Darstellung

Die ausgewiesenen MRASPs des Merkmals „Number of correct Exams“ sind im Vergleich mit den in Abbildung 7-6 dargestellten MRASPs dieses Merkmals niedriger. Im Hinblick auf das Merkmal „Total Number of Exams“ ist über alle angestrebten Prognosehorizonte aggregiert eine Vorteilhaftigkeit der Prognosesimulation, bei der das angepasste Lokal-Global Prinzip verwendet wurde, festzustellen ($MRASP(angepasst) = 27,813 / MRASP(rekursiv) = 30,741$). Für angestrebte Prognosehorizonte von einem Semester oder vier Semestern sind die Ergebnisse dieser zweiten Prognosesimulation minimal ungenauer als die der Prognosesimulation, bei der das rekursive Lokal-Global Prinzip zur Ähnlichkeitsberechnung verwendet wurde. Dagegen sind die Ergebnisse der zweiten Prognosesimulation für angestrebte Prognosehorizonte von zwei, drei, fünf oder sechs Semestern wesentlich genauer als die der ersten. Auch bei Verwendung des angepassten Lokal-Global Prinzips kommt es zu überhöhten Prognosen der Anzahl belegter Klausuren (die für das Merkmal „Total Number of Exams“ ausgewiesenen MRASPs liegen stets über denen des Merkmals „Number of correct Exams“). Im Hinblick auf die Anzahl korrekt prognostizierter Klausuren sowie der prognostizierten Gesamtzahl an Klausuren, die im Kontext der Kapazitätsplanung von entscheidender Bedeutung sind (s.o.), erscheint das angepasste Lokal-Global Prinzip zusammenfassend vorteilhaft gegenüber dem rekursiven Global-Lokal Prinzip.

7.2.2 Benchmarkbasierte Analyse der Prognosegenauigkeit auf dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren

In Abbildung 7-8 sind die im Rahmen der Prognosesimulationen mit dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren prognostizierten Teilnehmerzahlen (Spalten „CBR Forecast“ und „Regression Forecast“) zusammen mit den beobachteten Teilnehmerzahlen (Spalte „Real Value“) und den berechneten Prognosefehlern (Spalten „Absolute Error CBR“, „Absolute Error Regression“, „Symmetric Percentage Error CBR“ und „Symmetric Percentage Error Regression“) je Klausur des ersten Prüfungstermins des WS 2012/2013 dargestellt.

Evaluation Results: Standard Error Measures

Please Choose Semester
Please Choose CBR-Configuration

WS 2012/2013

Module	Real Number	CBR Forecast	Absolute Error CBR	Symmetric Percentage Error CBR	Regression Forecast	Absolute Error Regression	Symmetric Percentage Error Regression
Accounting_B_III	108	96	12	5.88235294	85.60545548	22.39454452	11.56710407
Accounting_B_V	88	111	23	11.55778894	244.91993238	156.91993238	47.13443598
Economics_B_III	217	239	22	4.8245614	189.86972911	27.13027089	6.6680485
Economics_B_V	66	70	4	2.94117647	76.58374848	10.58374848	7.42282945
Economics_B_VII	38	44	6	7.31707317	19.27395917	18.72604083	32.6955585
Management_B_II	229	250	21	4.38413361	205.1474378	23.8525622	5.49411562
Management_B_VI	88	103	15	7.85340314	62.47637384	25.52362616	16.96188279
Methoden_B_III	2	13	11	73.33333333	4.93935205	2.93935205	42.35773062
Methoden_B_IV	4	23	19	70.37037037			
Recht_B_I	201	237	36	8.21917808	176.36631691	24.63368309	6.52779063
Wirtschaftsinformatik_B_II	16	58	42	56.75675676			

Abbildung 7-8: Prognosen und Prognosefehler auf dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren

Quelle: Eigene Darstellung

Durch ein markierendes Exception Reporting sind die absoluten Fehler der mittels des Prototyps erstellten Prognosen der Teilnehmerzahlen für die Klausuren Methoden_B_III und Recht_B_I rot hervorgehoben. Nur für diese Klausuren konnte mittels der nichtlinearen Regression eine absolut und prozentual betrachtet genauere Prognose erstellt werden als mittels des Prototyps: Der absolute Prognosefehler des Prototyps liegt bzgl. der Teilnehmerzahl der Klausur Methoden_B_III bei 11, d. h. die Abweichung zwischen beobachteter und prognostizierter Teilnehmerzahl liegt bei 11 Teilnehmern oder 73,33%. Die nichtlineare Regression liefert ein weitaus genaueres Ergebnis, die absolute Abweichung liegt bei ca. 3 Teilnehmern bzw. 42,36%. Ähnlich ungenaue Prognosen liefert der Prototyp für die Klausuren Methoden_B_IV und Wirtschaftsinformatik_B_II. Hier fehlt jedoch der Benchmark-Wert, was darauf zurückzuführen ist, dass aufgrund der kurzen Zeitreihen der Teilnehmerzahlen dieser Klausuren keine Regressionsfunktionen geschätzt werden konnten. Hinsichtlich einer Gesamtbeurteilung der Prognosegenauigkeit sind – vor dem Hintergrund der für die übrigen Klausuren deutlich genaueren mittels des Prototyps erstellten

Prognosen – die für die genannten Klausuren erstellten Prognosen bzw. die jeweiligen Prognosefehler als Ausreißer zu werten.

Hervorzuheben ist ferner, dass die nichtlineare Regression für die überwiegende Zahl der Klausuren zu – teilweise drastisch – zu niedrigen Prognosen führt, während die vom Prototypen erstellten Prognosen – mit einer Ausnahme – zu hoch ausfallen. Vor dem Hintergrund der in Kapitel 7.2.1 diskutierten Werte der auf Basis des Anzahl-korrekte-Klausuren-Fehlers und des Anzahl-Klausuren-Fehlers berechneten MRASPs ist dieses Ergebnis wenig überraschend: Die Aggregation mittels des Prototyps falsch prognostizierter individueller Klausurteilnahmen führt zu Ungenauigkeiten der Prognose der Teilnehmerzahlen an einzelnen Klausuren.

Die Ergebnisse der Berechnung der Gütemaße sind in Abbildung 7-9 dargestellt. Die für die Klausuren Methoden_B_IV und Wirtschaftsinformatik_B_II, deren Teilnehmerzahlen mittels des Benchmarks nicht prognostiziert werden konnten, ausgewiesenen Prognosefehler wurden nicht in die Berechnung der Gütemaße eingeschlossen. Hierdurch wird einerseits der Einfluss von vermuteten Ausreißern auf die Gesamtbewertung der mittels des Prototyps erzielbaren Prognosegenauigkeit minimiert. Andererseits – und von entscheidender Bedeutung hinsichtlich der Gegenüberstellung mit dem Benchmark – wird die Vergleichbarkeit der je Verfahren ermittelten Gütemaße durch eine Angleichung der Grundgesamtheiten der jeweils ermittelten Prognosefehler geschaffen.

Evaluation Results: Standard Error Measures

Please Choose Semester
 Please Choose CBR-Configuration

WS 2012/2013

Module	Real Number	CBR Forecast	Absolute Error CBR	Symmetric Percentage Error CBR	Regression Forecast	Absolute Error Regression	Symmetric Percentage Error Regression
Accounting_B_III	108	96	12	5.88235294	85.60545548	22.39454452	11.56710407
Accounting_B_V	88	111	23	11.55778894	244.91993238	156.91993238	47.13443598
Economics_B_III	217	239	22	4.8245614	189.86972911	27.13027089	6.6680485
Economics_B_V	66	70	4	2.94117647	76.58374848	10.58374848	7.42282945
Economics_B_VII	38	44	6	7.31707317	19.27395917	18.72604083	32.6955585
Management_B_II	229	250	21	4.38413361	205.1474378	23.8525622	5.49411562
Management_B_VI	88	103	15	7.85340314	62.47637384	25.52362616	16.96188279
Methoden_B_III	2	13	11	73.33333333	4.93935205	2.93935205	42.35773062
Recht_B_I	201	237	36	8.21917808	176.36631691	24.63368309	6.52779063
Mean Absolute Errors			16.66666667			34.74486229	
Median Absolute Errors			15			23.8525622	
Symmetric Mean Absolute Percentage Errors				14.0347779			19.6477218
Median Symmetric Absolute Percentage Errors				7.31707317			11.56710407

Abbildung 7-9: Gegenüberstellung der auf dem Aggregationsniveau einzelner Klausuren berechneten Gütemaße

Quelle: Eigene Darstellung

Die berechneten Gütemaße finden sich in den untersten vier, blau hervorgehobenen Zeilen des in Abbildung 7-9 dargestellten Standardberichts.

Gemessen an den absoluten Gütemaßen liefert der Prototyp deutlich genauere Prognosen als der Benchmark. Im Mittel liegt bspw. eine Abweichung von ca. 17 Teilnehmern zwischen der beobachteten und der mittels des Prototyps prognostizierten Teilnehmerzahl vor ($MAP = 16,6667$). Die Prognose auf Basis der nichtlinearen Regression weicht dem gegenüber im Mittel um ca. 35 Teilnehmer und damit mehr als doppelt so stark von der beobachteten Teilnehmerzahl ab.

Gemessen an den prozentualen Gütemaßen ist die Vorteilhaftigkeit des Prototyps im Sinne einer höheren Prognosegenauigkeit zu relativieren. Zwar schneidet der Prototyp verglichen mit der nichtlinearen Regression auch hier besser ab, jedoch weniger deutlich als gemessen in absoluten Zahlen: Der MRASP der mittels des Prototyps erstellten Prognosen liegt bspw. bei ca. 14% während die Prognose auf Basis der nichtlinearen Regression einen MRASP von ca. 20% aufweist. Im Mittel liefert der Prototyp folglich Prognosen mit einer ca. um 6%-Punkte höheren Genauigkeit als die nichtlineare Regression.

Auch gemessen an den medianbasierten Gütemaßen ist die Genauigkeit der mittels des Prototyps erstellten Prognosen im Vergleich mit dem Benchmark als höher einzustufen ($MdRASP (Prototyp) = 7,316 / MdRASP (nichtlin. Regression) = 11,566$).

Die Werte der medianbasierten Gütemaße liegen bei beiden betrachteten Verfahren – zum Teil deutlich – unter denen der mittelwertbasierten Gütemaße. Daraus ist zu schließen, dass – trotz der Bereinigung der Zeitreihen und des Ausschlusses der bereits auf Basis der je Klausur ausgewiesenen Prognosefehler erkannten Ausreißer – wenige Prognosefehler das Gesamtergebnis entscheidend beeinflussen. Hervorzuheben ist diesbezüglich insbesondere der für die Prognose auf Basis der Regressionsfunktionen ermittelte MdAP, der mit einem Wert von ca. 23,8 stark vom Wert des MAP (ca. 34,6%) abweicht. Diese Abweichung deutet darauf hin, dass die prognostizierten Teilnehmerzahlen einiger Klausuren sehr stark vom beobachteten Wert abweichen. Der für die mittels des Prototyps erstellte Prognose ermittelte MdAP weicht dem gegenüber nur um ca. 1,6%-Punkte vom MAP ab, was zunächst nicht auf einen Einfluss von Ausreißern hindeutet. Allerdings liegt der MdRASP der mittels des Prototyps erstellten Prognosen deutlich unter dem MRASP. Diese Abweichung ist offensichtlich auf den vergleichsweise extremen symmetrischen absoluten prozentualen Prognosefehler, der für die Prognose der Teilnehmerzahl der Klausur Methoden_B_III ermittelt wurde (ca. 73%), zurückzuführen. Zu erklären ist die verglichen

mit dem Benchmark große Ungenauigkeit der für diese schwach nachgefragte Klausur erstellten Prognose anhand der divergierenden konzeptuellen Eigenschaften des Prototyps und des Benchmark: Der auf einer Zeitreihenanalyse als Spezialfall der Regressionsanalyse basierende Benchmark erstellt Prognosen durch Extrapolation absoluter, historischer Teilnehmerzahlen. Für historisch stets schwach nachgefragte Klausuren ist folglich eine niedrige prognostizierte Teilnehmerzahl zu erwarten. Dem gegenüber basieren die mittels des Prototyps erstellten Prognosen auf der Aggregation für einzelne Studierende erstellter Studienverlaufsprognosen. Letztere werden im Kern durch die Wiederverwendung von ggf. modifizierten Erfahrungen ähnlicher Studierender erstellt (vgl. Kapitel 5.1.2). Hieraus resultieren zwei Probleme hinsichtlich der Prognose der Teilnehmerzahlen historisch schwach nachgefragter Klausuren. Erstens besteht die Gefahr der Wiederverwendung der Erfahrungen eines Studierenden, der eine schwach nachgefragte Klausur bspw. nicht aufgrund seiner persönlichen Präferenzen, sondern in Ermangelung von Alternativen belegt hat, zur Lösung einer Vielzahl an Query Cases. Die Annahme, dass Studienverläufe individuelle Präferenzen und Fähigkeiten widerspiegeln (vgl. Kapitel 5.1.2), ist damit verletzt. Die schwach nachgefragte Klausur wird in der Folge – unter Missachtung individueller Präferenzen – Teil der prognostizierten Studienverläufe einer Vielzahl an Studierenden. Zweitens erfolgt im Rahmen des Subprozesses OR-Revise eine regelbasierte Modifikation der Lösungen von (Iterated) Solved Cases, bei der bspw. bereits bestandene Klausuren durch alternative Klausuren ersetzt werden, um die Konformität der Lösung mit einer Prüfungsordnung sicherzustellen (vgl. Kapitel 6.3.3.6). Da die Auswahl einer alternativen Klausur in Teilen zufallsgesteuert ist (vgl. Kapitel 6.3.3.6), können schwach nachgefragte Klausuren hier – ebenfalls entgegen individueller Präferenzen – Teil der Lösungen einer Vielzahl an Repaired Cases werden.

7.3 Zusammenfassende Bewertung des Konzepts

Im Hinblick auf die Eignung des in Kapitel 5 vorgestellten Konzepts zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen eines hochschulinternen Planungssystems können auf Basis der in den Kapiteln 7.2.1 und 7.2.2 vorgestellten Ergebnisse der Bewertung der Prognosegenauigkeit mehrere Aussagen getroffen werden.

Erstens ist eine *Tendenz zur systematischen Überprognose der Klausurteilnahmen* auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender und in der Folge auch auf dem Niveau einzelner Klausuren festzustellen. Eine Verwendung der Prognosen bspw. zur Fundierung der

Belegung sachlicher Kapazitäten (vgl. Kapitel 2.3.3) im Rahmen der Kapazitätsplanung auf operativer Ebene des hochschulinternen Planungssystems würde zu einer (zu) niedrigen Auslastung verfügbarer Kapazitäten führen. Dem gegenüber würde eine Fundierung durch mittels des Benchmarks erstellte Prognosen die Studierbarkeit im Sinne der Sicherstellung der Befriedigung studentischer Nachfrage nach Plätzen in Klausuren gefährden. Denn die nichtlineare Regression weist eine Tendenz zur systematischen Unterprognose auf. Die Zuweisung von Räumen zu Klausuren basierend auf mittels der nichtlinearen Regression erstellten Prognosen würde folglich zu Überschreitungen der Anzahl an Sitzplätzen (des Kapazitätsangebots) je Klausur durch die tatsächliche Teilnehmerzahl (die Kapazitätsnachfrage) führen. Verfolgt die Kapazitätsplanung auf operativer Ebene des hochschulinternen Planungssystems das Ziel der Vermeidung der Überschreitung von Maximalkapazitäten (vgl. Kapitel 2.3.3), erweist sich die Fundierung mittels der prototypischen Umsetzung des vorgestellten Konzepts erstellter Prognosen folglich für diese Ebene des Planungssystems als vorteilhaft gegenüber dem Benchmark.

Zweitens deutet die Tatsache, dass mittels des Prototyps Prognosen der Teilnehmerzahlen auch für diejenigen Klausuren erstellt werden konnten, für die die Prognose auf Basis des Benchmarks aus methodischen Gründen ausscheidet, auf die *Überlegenheit des Konzepts gegenüber dem Benchmark hinsichtlich der Flexibilität* im Sinne des Umgangs mit unvollständigen Daten oder kleinen Zeitreihen/Fallzahlen hin. Diese Flexibilität ist insbesondere für die Erstellung von Prognosen im Kontext verhältnismäßig neuer Studiengänge, für die keine oder sehr kurze Zeitreihen vorliegen, von entscheidender Bedeutung.

Drittens scheint grundsätzlich eine *Möglichkeit zur (positiven) Beeinflussung der Prognosegenauigkeit durch Veränderungen der Konfiguration des Ähnlichkeitsmaßes*, vor allem durch die Verwendung des angepassten Lokal-Global Prinzips und einer hohen Gewichtung studienverlaufsbezogener Fallattribute gegeben zu sein. Es wurde gezeigt, dass die Prognosegenauigkeit bei Verwendung des rekursiven Lokal-Global Prinzips mit zunehmendem Prognosehorizont sinkt. Dies ist vor allem im Hinblick auf die prognostische Fundierung der Kapazitätsplanung auf strategisch-taktischer Ebene des hochschulinternen Planungssystems kritisch, für die ein Prognosehorizont von mindestens drei Jahren erforderlich ist. Daher sollte das angepasste Lokal-Global Prinzip Anwendung finden. Denn dieses führt verglichen mit dem rekursiven Lokal-Global Prinzip zu einer Erhöhung der Prognosegenauigkeit vor allem bei Prognosehorizonten von fünf oder sechs Semestern. Die Möglichkeit zur Fundierung der Kapazitätsplanung auf strategisch-taktischer Ebene

des hochschulinternen Planungssystems durch brauchbare Prognosen erscheint vor diesem Hintergrund auf Basis des vorgestellten Konzepts grundsätzlich möglich.

Viertens erweist sich die *Prognose der Teilnehmerzahlen an schwach nachgefragten Klausuren als schwierig*. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die *Kapazitätsplanung für sogenannte kleine Studiengänge*, die grundsätzlich wenige Studierende und damit kleine Teilnehmerzahlen an Klausuren aufweisen, als kritisch zu betrachten. Die in diesem Zusammenhang diskutierten Probleme (vgl. Kapitel 7.2.2) erscheinen durch Erweiterungen bzw. Anpassungen des Prototyps lösbar. Bspw. könnte durch die Abbildung generellen Wissens über historische Teilnehmerzahlen – oder, anders gefasst, die Beliebtheit einzelner Klausuren bei Studierenden – und die Nutzung dieses Wissens zur Modifikation von Lösungen im Subprozess OR-Revise die Auswahl alternativer Klausuren auf Basis historischer Nachfragen erfolgen. Ferner ist eine Steigerung der Prognosegenauigkeit insbesondere im Hinblick auf schwach nachgefragte Klausuren durch die explizite Einbeziehung individueller studentischer Präferenzen – und damit Wissen hinsichtlich der Beliebtheit einzelner Klausuren – im Rahmen des nicht in die Evaluation einbezogenen Subprozesses ISP-Revise zu erwarten.

Die Punkte drei und vier zeigen zusammenfassend Potenziale zur Verbesserung der mit dem Prototyp erreichbaren Prognosequalität auf, die zum einen im verwendeten Ähnlichkeitsmaß, zum anderen in den zur Abbildung und Nutzung generellen Wissens verwendeten Methoden liegen. Die hinsichtlich der Prognosegenauigkeit kritisch dargestellten Aspekte lassen sich demzufolge weniger auf das konstruierte Artefakt (das Konzept eines zusammengesetzten DSS) zurückführen als auf die prototypische – und damit per Definition vereinfachte – Realisierung des Artefakts.

Abschließend lässt sich feststellen, dass das entwickelte Konzept sowie der realisierte Prototyp die Möglichkeit zur Erstellung und Bereitstellung von Prognosen bieten, die die konzeptuellen Grenzen durch einen Benchmark vertretener, alternativer Prognosemethoden überwinden. Insbesondere bietet das Konzept im Gegensatz zum Benchmark die Möglichkeit zur Erstellung von Prognosen auf dem Aggregationsniveau einzelner Studierender, mithin zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf der operativen Ebene des hochschulinternen Planungssystems. Ferner konnten mittels des Prototyps Prognosen von Teilnehmerzahlen an Klausuren erstellt werden, für die der Benchmark aufgrund zu kurzer Zeitreihen, mithin aufgrund konzeptueller Schwächen, ausschied. Zusätzlich ist die Vorteilhaftigkeit des Konzepts durch die Tatsache zu begründen, dass die vereinfachte, proto-

typische Umsetzung zum Teil deutlich genauere Prognosen liefert als ein Benchmark. Eine Verbesserung der Prognosequalität – und damit eine Steigerung der Vorteilhaftigkeit des Konzepts gegenüber alternativen Methoden – ist einerseits im Rahmen der Weiterentwicklung des Prototyps zu erwarten. Andererseits bietet insbesondere die Durchführung des Subprozesses ISP-Revise Potenzial zur Erhöhung der Genauigkeit, da hierdurch im Gegensatz zu allen betrachteten alternativen Verfahren (vgl. Kapitel 3.3) die explizite Berücksichtigung individueller studentischer Präferenzen erfolgt. Sowohl der Prototyp als auch das vorgestellte Konzept bieten zusammenfassend das Potenzial zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen des hochschulinternen Planungssystems.

8 Zusammenfassung und Perspektiven

8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im ersten Kapitel wurde das Gestaltungsziel formuliert, ein Informationssystem zu konzipieren und prototypisch zu realisieren, das eine prognostische Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme (der strategisch-taktischen und insbesondere der operativen) im Sinne der Erstellung den Bereich Lehre betreffender Nachfrageprognosen und deren Bereitstellung in einer von Entscheidungsträgern der hochschulinternen Kapazitätsplanung verwertbaren Form erlaubt.

Zur Erreichung dieses Ziels wurde der idealtypische Erkenntnisprozess der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik, bestehend aus den Phasen Analyse, Entwurf, Evaluation und Diffusion (Österle u. a., 2010) verfolgt.

Im Rahmen der in die Analysephase einzuordnenden Kapitel 2 und 3 wurde zunächst die Relevanz hochschulinterner Planungen zur Erreichung der im Zuge der Reformen des deutschen Hochschulsektors der letzten 15 Jahre gewandelten Ziele und Aufgaben von Hochschulen und deren Entscheidungsträgern aufgezeigt. Basierend auf bestehenden Theorien der Planung und der Kapazitätsplanung im Allgemeinen wurde anschließend die Ausgestaltung der hochschulinternen Kapazitätsplanung im Speziellen diskutiert. Der Prognosebedarf verschiedener Entscheidungsträger der hochschulinternen Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme wurde anschließend deduktionsgetrieben analysiert. Unter Berücksichtigung des explizierten Prognosebedarfs sowie der erläuterten Rahmenbedingungen erfolgte die Analyse etablierter Prognosemethoden im Hinblick auf ihre Einsatzpotenziale und Grenzen zur prognostischen Fundierung der hochschulinternen Kapazitätsplanung. Die Ergebnisse der Analysephase umfassen im Wesentlichen die Erkenntnis, dass etablierte Prognosemethoden zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme ungeeignet sind. Ferner wurde mit der Herleitung des Prognosebedarfs die Problemstellung im Sinne der Erhebung von Anforderungen an das zu konzipierende Informationssystem konkretisiert.

Die Kapitel 4 und 5 ordnen sich in die Entwurfsphase des Erkenntnisprozesses ein. In Kapitel 4 wurden methodische Grundlagen des Konzepts rekapituliert, um deren Einsatzpo-

tenziale und Grenzen im Hinblick auf die prognostische Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme aufzuzeigen und Anpassungen und Erweiterungen zu motivieren. Auf dieser Basis wurde in Kapitel 5 das generische Konzept eines zusammengesetzten DSS entwickelt, dessen Potenzial zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme aus der Kombination einer wissensgetriebenen mit einer datengetriebenen DSS-Komponente resultiert. Die wissensgetriebene Komponente – ein CBR-System – dient dabei der Erstellung von Nachfrageprognosen auf atomarer Ebene, während die datengetriebene Komponente auf die Bereitstellung erstellter Nachfrageprognosen in von Entscheidungsträgern der Kapazitätsplanung verwertbarer Form abzielt. Innovationscharakter weist dabei insbesondere das Konzept der wissensgetriebenen Komponente auf: Die objektorientierte Fallrepräsentation wurde erweitert, um im Bezug auf die Anzahl an enthaltenen Zeitabschnitten heterogene Erfahrungen flexibel auf Fälle abbilden zu können. Ferner wurden verschiedene Anpassungen und Erweiterungen des CBR-cycle vorgeschlagen, die u. a. den Umgang mit heterogenen Fallbasen durch eine dynamische Interpretation von Fallkomponenten sowie die flexible Einbindung generellen Wissens durch Kopplung mit einem RBR-System und einer Ontologie vereinfachen. Ferner wurden mit den Erweiterungen Möglichkeiten zur Einbeziehung diverser Entscheidungsträger in den Subprozess *Revise* sowie zur flexiblen Erhöhung des durch das CBR-System realisierbaren Prognosehorizonts geschaffen. Mit dem generischen Konzept des zusammengesetzten DSS liegt im Ergebnis der Entwurfsphase ein Lösungsvorschlag für die in der Analysephase erarbeitete Problemstellung vor.

Die Umsetzbarkeit sowie die Eignung des Lösungsvorschlags zur prognostischen Fundierung der Kapazitätsplanung auf verschiedenen Ebenen hochschulinterner Planungssysteme unter realen Bedingungen wurde durch die Ausführungen der Kapitel 6 und 7, die der Evaluationsphase des Erkenntnisprozesses zuzuordnen sind, nachgewiesen. Das generische Konzept wurde am Beispiel von Studiengängen der Universität Osnabrück prototypisch realisiert. Auf Basis von Prognosesimulationen, die mittels des Prototyps sowie mittels eines Benchmarks durchgeführt wurden, erfolgte die Berechnung verschiedener Gütemaße, um die Genauigkeit der jeweils erstellten Prognosen zu Vergleichszwecken zu operationalisieren. Die Ergebnisse der Evaluationsphase zeigen zusammenfassend die Realisierbarkeit des erarbeiteten Konzepts sowie die Vorteilhaftigkeit des Konzepts gegenüber einer Referenzmethode. Allerdings wurden auch Potenziale zur Erweiterung und Verbesserung identifiziert, die insbesondere die prototypische Realisierung des Konzepts betreffen, aber

auch Rückschlüsse auf Chancen zur Erweiterung des Konzepts zulassen. Diese werden im folgenden Kapitel 8.2 diskutiert, um Anstöße zu weiteren, ergänzenden Forschungsprojekten zu geben.

8.2 Zukünftiger Forschungsbedarf

Der zukünftige Forschungsbedarf betrifft insbesondere die Ausgestaltung des Ähnlichkeitsmaßes bzw. die Gewichtung von Fallattributen im Rahmen der Ähnlichkeitsberechnung, durch die – wie im Kapitel 7.2.1 gezeigt – eine Erhöhung der Prognosegenauigkeit erreicht werden kann. Vielversprechend erscheint diesbezüglich die Erstellung eines Konzepts zur Kombination des in dieser Arbeit vorgestellten angepassten und erweiterten CBR-cycle mit dem von Stahl (2004) vorgeschlagenen Verfahren zur Ableitung von Ähnlichkeitsmaßen aus Präferenzen der Benutzer eines CBR-Systems bzw. aus einem durch ein Gütemaß operationalisierten Fehler der durch ein CBR-System vorgeschlagenen Lösungen. Möglichkeiten zur Kombination der Forschungsergebnisse dieser Arbeit mit denen von Stahl (2004) liegen z. B. in der *Nutzung im Rahmen von Prognosesimulationen ermittelter Prognosefehler zur Optimierung des Ähnlichkeitsmaßes* oder in der *Erfassung von Präferenzen einzelner Studierender im Rahmen des Subprozesses ISP-Revise zur Aufstellung individualisierter Ähnlichkeitsmaße*.

Das von der CBR-Komponente genutzte generelle Wissen betreffend ist ferner eine *Analyse des von einer Erweiterung der Ontologie bzw. der Regelbasis ausgehenden Verbesserungspotenzials* empfehlenswert. Insbesondere vor dem Hintergrund der im Rahmen der Evaluation aufgezeigten Schwächen hinsichtlich der Erstellung von Prognosen für regelmäßig schwach nachgefragte Klausuren erscheint die *Repräsentation zusätzlichen generellen Wissens über die Popularität von Modulen und deren Ausnutzung bspw. im Subprozess OR-Revise* vielversprechend. Dieses Wissen könnte z. B. aus historischen Teilnehmerzahlen abgeleitet werden. Daneben könnten Methoden wie die Sentimentanalyse genutzt werden, um Wissen über studentische Einstellungen und Präferenzen aus Diskussionen in Sozialen Netzwerken oder Bewertungsportalen zu akquirieren und für die Verwendung im angepassten, erweiterten CBR-cycle verfügbar zu machen.

Verbesserungspotenzial im Hinblick auf die CBR-Komponente besteht zusätzlich in der *Automatisierung der Akquisition des verwendeten generellen Wissens*. Die vorgeschlagene manuelle Akquisition des Wissens könnte unter Ausnutzung des Potenzials von Methoden des Text-Mining oder des Natural Language Processing durch eine automatisierte Extrak-

tion des Wissens z. B. aus Prüfungsordnungen unterstützt oder gar ersetzt werden. Ferner ist eine Extraktion des Wissens aus einem CMS denkbar.

Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der nicht im Fokus dieser Arbeit stehenden Prognose von Neueinschreibungen im Rahmen des konzipierten Subprozesses Identify (vgl. Kapitel 5.2.2.3). Verbesserungspotenzial besteht hier insbesondere in der Schaffung einer Möglichkeit zur Berücksichtigung der von der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland regelmäßig veröffentlichten, auf den gesamten deutschen Hochschulbereich bezogenen Prognose der Studienanfänger. Bspw. könnten *ökonomische Modelle* (vgl. Kapitel 2.2.2.3) zur *Prognose der Neueinschreibungen je Studiengang* aufgestellt werden, die neben den öffentlich zugänglichen Prognosen der Gesamtzahl an Studienanfängern weitere demographische Faktoren und Umwelteinflüsse berücksichtigen.

Ferner erscheint eine Erweiterung des vorgestellten Konzepts um *weitere Komponenten zur Unterstützung diverser Teilaufgaben der hochschulinternen Kapazitätsplanung* angemessen. Die im Rahmen der Kapazitätsplanung auf operativer Ebene hochschulinterner Planungssysteme durchzuführende Aufgabe der Terminplanung könnte bspw. durch eine Erweiterung des zusammengesetzten DSS um eine zusätzliche Komponente, die ein modellgetriebenes DSS realisiert, unterstützt werden. Hochschulen setzen derartige DSS bereits zur teilautomatisierten Erstellung von Stundenplänen oder zur Klausurterminierung auf Basis vorliegender Anmeldungen ein (vgl. z. B. Rieger u. a., 2009, S. 529). Eine Kombination dieser Systeme mit der CBR-Komponente des vorgestellten Konzepts verspricht eine Erhöhung des Planungshorizonts der Terminplanung und damit die Eröffnung von Möglichkeiten zur frühzeitigen Reaktion auf bzw. Auflösung von potenziellen Überschneidungen, mithin eine Verbesserung der Ergebnisse der Terminplanung.

Zusätzlich besteht weiterer Forschungsbedarf im Hinblick auf die Evaluation. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Überprüfung der Forschungsergebnisse fokussiert den wesentlichen Aspekt prognoseorientierter Systeme, die Prognosegenauigkeit, schließt jedoch den potenziellen Einfluss des Subprozesses ISP-Revise des angepassten erweiterten CBR-cycle aus der Betrachtung aus. Um eine exaktere Bewertung des Konzepts im Sinne der Prognosegenauigkeit vornehmen zu können, ist eine *Weiterentwicklung des Prototyps in ein Pilotsystem* denkbar, um alle Studierenden, die potenziell Module oder Klausuren eines Beispielstudiengangs belegen, mit prognostizierten Studienverläufen konfrontieren zu können. Die Prognosegenauigkeit könnte mithilfe verschiedener Track-Record-

Analysen ermittelt werden, wobei Prognosen mit unterschiedlichen Prognosehorizonten für mehrere Vergleichsgruppen von Studierenden einerseits unter Einbeziehung, andererseits unter Ausschluss des Subprozesses ISP-Revise erstellt werden sollten. Dadurch würde eine vergleichende Bewertung der je Track-Record-Analyse resultierenden Prognosegenauigkeit und damit die *Erfassung des Einflusses des Subprozesses ISP-Revise* ermöglicht. *Änderungen im Studierverhalten*, die potenziell aus der im Rahmen des Subprozesses stattfindenden Auseinandersetzung der Studierenden mit Prognosen resultieren, *könnten z. B. im Rahmen einer empirischen Studie erhoben werden* und in die Bewertung des Konzepts einfließen. Darüber hinaus könnten die im Rahmen der Track-Record-Analysen erstellten Prognosen ausgewählten Entscheidungsträgern einer Hochschule mittels der datengetriebenen Komponente als Informationsgrundlage zur Durchführung der Kapazitätsplanung bereitgestellt werden, um eine *Bewertung des Konzepts in einem realen Anwendungskontext* vornehmen zu können.

Anhang

I Verwendete lokale Ähnlichkeitsmaße

<i>Technischer Name lokales Ähnlichkeitsmaß</i>	<i>Beschreibung lokales Ähnlichkeitsmaß</i>	<i>Betroffene attribute</i>	<i>Fall-</i>
Interval	<p>Berechnet die Ähnlichkeit zweier numerischer Attribute innerhalb eines Intervalls nach der Formel:</p> $sim(x, y) = 1 - \left(\frac{ x-y }{interval} \right).$ <p>Das Ergebnis ist 1, wenn die Werte von x und y identisch sind. Das Ergebnis ist 0, wenn x am einen Ende des Intervalls und y am anderen Ende des Intervalls liegt. Das Ergebnis ist < 0 wenn die Differenz der Werte größer ist als das Intervall.</p>	age birthYear gradeALev gradeAverage sumECTS sumEctsSem gradeAverageSem attempt grade	
Equal	<p>Berechnet die Ähnlichkeit zweier Attribute auf Basis der Methode <code>java.lang.Object.equals()</code></p> <p>Das Ergebnis ist 1, wenn beide Attribute exakt gleich sind. Das Ergebnis ist 0, wenn die Attribute nicht exakt gleich sind.</p>	birthPlace sex placeALev typeALev foreignInALev exRegVersion type exPhase comment	
Threshold	<p>Berechnet die Ähnlichkeit zweier numerischer Attribute nach der Formel:</p> $sim(x, y) = \begin{cases} 0 & x - y > threshold \\ 1 & x - y \leq threshold \end{cases}.$ <p>Das Ergebnis ist 0, wenn die Differenz der Werte größer ist als der Schwellwert (threshold). Das Ergebnis ist 1, wenn die Differenz der Werte kleiner als oder gleich dem Schwellwert (threshold) ist.</p>	yearALev distALev distanceKmATown inhabsATown noProgSems ects	
OntCosine	<p>Berechnet die Ähnlichkeit zweier Objekte der Klasse <code>Instance</code> auf Basis der Position gleichnamiger Individuen innerhalb einer Ontologie (vgl. Recio García u. a., 2008, S. 55 ff.; Recio García, 2008, S. 29 f.).</p>	module	

II Klausur- und prüfungsterminspezifische Zeitreihen von Teilnehmerzahlen

<i>Klausurtitel</i>	<i>Prüfungstermin</i>	<i>Semester</i>	<i>Teilnehmerzahl</i>
Accounting_B_III	1	WS 2009/2010	11
		WS 2010/2011	23
		WS 2011/2012	64
		WS 2012/2013	108
	2	WS 2009/2010	2
		WS 2010/2011	10
		WS 2011/2012	34
		WS 2012/2013	54
Accounting_B_V	1	WS 2009/2010	56
		WS 2010/2011	40
		WS 2011/2012	79
		WS 2012/2013	88
	2	WS 2009/2010	20
		WS 2010/2011	14
		WS 2011/2012	34
		WS 2012/2013	38
Economics_B_III	1	WS 2008/2009	94
		WS 2009/2010	84
		WS 2010/2011	152
		WS 2011/2012	191
		WS 2012/2013	217
	2	WS 2008/2009	42
		WS 2009/2010	38
		WS 2010/2011	74
		WS 2011/2012	63
		WS 2012/2013	80
Economics_B_VII	1	WS 2009/2010	32
		WS 2010/2011	14
		WS 2011/2012	28
		WS 2012/2013	38
	2	WS 2009/2010	18
		WS 2010/2011	5
		WS 2011/2012	19
		WS 2012/2013	21
Management_B_II	1	WS 2008/2009	94
		WS 2009/2010	92
		WS 2010/2011	156
		WS 2011/2012	205
		WS 2012/2013	229
	2	WS 2008/2009	21
		WS 2009/2010	25
		WS 2010/2011	57
		WS 2011/2012	74
		WS 2012/2013	71

<i>Klausurtitel</i>	<i>Prüfungstermin</i>	<i>Semester</i>	<i>Teilnehmerzahl</i>
Management_B_VI	1	WS 2009/2010	51
		WS 2010/2011	49
		WS 2011/2012	64
		WS 2012/2013	88
	2	WS 2009/2010	15
		WS 2010/2011	15
		WS 2011/2012	32
		WS 2012/2013	47
Methoden_B_III	1	WS 2008/2009	1
		WS 2009/2010	2
		WS 2010/2011	8
		WS 2011/2012	2
	2	WS 2012/2013	2
		WS 2010/2011	2
Methoden_B_IV	1	WS 2010/2011	1
		WS 2011/2012	1
		WS 2012/2013	4
Recht_B_I	1	WS 2008/2009	95
		WS 2009/2010	78
		WS 2010/2011	147
		WS 2011/2012	180
		WS 2012/2013	201
	2	WS 2008/2009	11
		WS 2009/2010	5
		WS 2010/2011	11
		WS 2011/2012	3
		WS 2012/2013	15
Wirtschaftsinformatik_B_II	1	WS 2010/2011	12
		WS 2011/2012	35
		WS 2012/2013	16
	2	WS 2010/2011	1
		WS 2011/2012	7
		WS 2012/2013	9

III Zur Prognoseerstellung verwendete Regressionsfunktionen

<i>Prüfungszeitraum</i>	<i>Klausur</i>	<i>Regressionsfunktion</i>
01	Accounting_B_III	$y = 10,0549 * x^{1,5448}$
	Accounting_B_V	$y = 1,8275 * x^{3,0431}$
	Economics_B_III	$y = 80,6128 * x^{0,5323}$
	Economics_B_VII	$y = 26,7662 * x^{-0,2369}$
	Management_B_II	$y = 82,0125 * x^{0,5697}$
	Management_B_VI	$y = 48,8006 * x^{0,1781}$
	Methoden_B_III	$y = 1,1663 * x^{0,8968}$
	Methoden_B_IV	n. Def.*
	Recht_B_I	$y = 80,1917 * x^{0,4896}$
	Wirtschaftsinformatik_B_II	n. Def.*
02	Accounting_B_III	$y = 1,9160 * x^{2,5511}$
	Accounting_B_V	$y = 16,9352 * x^{0,3756}$
	Economics_B_III	$y = 38,3258 * x^{0,3894}$
	Economics_B_VII	$y = 13,1186 * x^{-0,1551}$
	Management_B_II	$y = 18,1170 * x^{0,9511}$
	Management_B_VI	$y = 13,3706 * x^{0,6153}$
	Methoden_B_III	n. Def.*
	Methoden_B_IV	n. Def.*
	Recht_B_I	$y = 10,8140 * x^{-0,6355}$
	Wirtschaftsinformatik_B_II	n. Def.*

*Für die Zeitreihen der Teilnehmerzahlen dieser Klausuren konnten keine Regressionsfunktionen geschätzt werden, da die verfügbaren Zeitreihen zu kurz sind.

IV Der Prognosesimulation zugrundeliegende Konfiguration der CBR-Komponente (rekursives Lokal-Global Prinzip)

Technischer Name	Eval_A_Final_20131030	
Bezeichnung Persistenzschicht	Oracle 11g WiWi	
Ausführung Subprozess Generate and Solve Dummy Cases	Ja	
Ausführung Subprozess Repeat	Nein	
Ausführung Subprozess OR-Revise	Ja	
Art des verwendeten Ähnlichkeitsmaßes	Rekursives Lokal-Global Prinzip	
Attributgewichtung	Attribut	Gewicht
	age	1
	birthYear	1
	ageALev	1
	distALev	1
	typeALev	1
	studHistory (relational)	1
	exRegVersion	1
	noProgSems	1
	gradeAverage	1
	sumECTS	1
	studSemester (relational)	1
	sumEctsSem	1
	gradeAverageSem	1
	description	1
	exams (relational)	1
	module	1
	ects	1
	attempt	1
	grade	1
exType	1	
exPhase	1	
status	1	
comment	1	

V Der Prognosesimulation zugrundeliegende Konfiguration der CBR-Komponente (angepasstes Lokal-Global Prinzip)

Technischer Name	Eval_B_Final_20131031	
Bezeichnung Persistenzschicht	Oracle 11g WiWi	
Ausführung Subprozess Generate and Solve Dummy Cases	Ja	
Ausführung Subprozess Repeat	Nein	
Ausführung Subprozess OR-Revise	Ja	
Art des verwendeten Ähnlichkeitsmaßes	Angepasstes Lokal-Global Prinzip	
	firstLevValue (lokale Objektähnlichkeit der Objekte auf der ersten Ebene der Zerlegungshierarchie)	1
	weightedAvgHistories (lokale Objektähnlichkeit der Objekte auf der zweiten Ebene der Zerlegungshierarchie)	3
	weightedAvgSemesters (lokale Objektähnlichkeit der Objekte auf der dritten Ebene der Zerlegungshierarchie)	4
	weightedAvgExams (lokale Objektähnlichkeit der Objekte auf der vierten Ebene der Zerlegungshierarchie)	5
	age	1
	birthYear	1
	ageALev	1
	distALev	1
	typeALev	1
	exRegVersion	1
	noProgSems	1
	gradeAverage	3
	sumECTS	3
	sumEctsSem	3
	gradeAverageSem	3
	description	1
	module	4
	ects	3
	attempt	1
	grade	3
	exType	1
	exPhase	1
	status	1
	comment	1

Literaturverzeichnis

- Aamodt, A., & Nygård, M. (1995). Different Roles and Mutual Dependencies of Data, Information, and Knowledge - An AI Perspective on Their Integration. *Data & Knowledge Engineering*, 16(3), 191–222.
- Aamodt, A., & Plaza, E. (1994). Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. *AI Communications*, 7(1), 39–59.
- Abou Assali, A., Lenne, D., & Debray, B. (2009). Case Retrieval in Ontology-Based CBR Systems. In B. Mertsching, M. Hund, & Z. Aziz (Hrsg.), *KI 2009: Advances in Artificial Intelligence - 32nd Annual German Conference on AI, Paderborn, Germany, September 15-18, 2009. Proceedings* (S. 564–571). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Abraham, B. (2005). *Statistical Methods for Forecasting*. Hoboken, NJ [u.a.]: Wiley.
- Ackoff, R. (1970). A Concept of Corporate Planning. *Long Range Planning*, 3(1), 2–8.
- Adam, D. (1996). *Planung und Entscheidung: Modelle - Ziele - Methoden; mit Fallstudien und Lösungen* (4. Aufl.). Wiesbaden: Gabler.
- Adamson, C. (2010). *Star Schema: The Complete Reference*. New York: McGraw-Hill.
- Aha, D. W., Breslow, L. A., & Muñoz-Avila, H. (2001). Conversational Case-Based Reasoning. *Applied Intelligence*, 14(1), 9–32.

- Alesi, B., Bürger, S., Kehm, B. M., & Teichler, U. (2005). *Stand der Einführung von Bachelor- und Master-Studiengängen im Bologna-Prozess sowie in ausgewählten Ländern Europas im Vergleich zu Deutschland* (Endbericht). Bonn: BMBF.
- Allen, P. G. (2001). Econometric Forecasting. In J. S. Armstrong (Hrsg.), *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners* (S. 303–362). Boston, MA: Kluwer Academic.
- Alt, R., & Auth, G. (2010). Campus-Management-System. *Wirtschaftsinformatik*, 52(3), 185–188.
- Alter, S. (1980). *Decision Support Systems: Current Practice and Continuing Challenges*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Althoff, K.-D., Wess, S., Bartsch-Spörl, B., Janetzko, D., Maurer, F., & Voß, A. (1992). Fallbasiertes Schließen in Expertensystemen: Welche Rolle spielen Fälle für wissensbasierte Systeme? *Künstliche Intelligenz - KI*, 6(4), 14–21.
- Amintoosi, M., & Haddadnia, J. (2005). Feature Selection in a Fuzzy Student Sectioning Algorithm. In E. K. Burke & M. Trick (Hrsg.), *Practice and Theory of Automated Timetabling V: 5th International Conference, PATAT 2004, Pittsburgh, PA, USA, August 18-20, 2004. Revised Selected Papers* (S. 147–160). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Anahory, S. (1997). *Data Warehousing in the Real World: A Practical Guide for Building Decision Support Systems*. Harlow, England; Reading, MA: Addison-Wesley.
- Andres, P., & Spiwoкс, M. (2000). *Prognosegütemasse: State of the Art der statistischen Ex-post-Beurteilung von Prognosen*. Darmstadt: Sofia-Studien zur Institutionenanalyse 00-1.

- Antoniou, G., Franconi, E., & van Harmelen, F. (2005). Introduction to Semantic Web Ontology Languages. In N. Eisinger & J. Małuszyński (Hrsg.), *Reasoning Web: First international summer school 2005, Msida, Malta, July 25-29, 2005. Tutorial lectures* (S. 1–21). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Antoniou, G., & van Harmelen, F. (2004). Web Ontology Language: OWL. In S. Staab & R. Studer (Hrsg.), *Handbook on Ontologies* (S. 68–92). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Armstrong, J. S. (1985). *Long-Range Forecasting: From Crystal Ball to Computer* (2. Aufl.). New York: Wiley.
- Armstrong, J. S. (2001a). Evaluating Forecasting Methods. In J. S. Armstrong (Hrsg.), *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners* (S. 443–472). Boston, MA: Kluwer Academic.
- Armstrong, J. S. (2001b). Introduction. In J. S. Armstrong (Hrsg.), *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners* (S. 1–12). Boston, MA: Kluwer Academic.
- Armstrong, J. S. (2001c). Selecting Forecasting Methods. In J. S. Armstrong (Hrsg.), *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners* (S. 365–386). Boston, MA: Kluwer Academic.
- Armstrong, J. S. (2001d). Standards and Practices for Forecasting. In J. S. Armstrong (Hrsg.), *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners* (S. 677–732). Boston, MA: Kluwer Academic.
- Armstrong, J. S., & Collopy, F. (1992). Error Measures for Generalizing about Forecasting Methods: Empirical Comparisons. *International Journal of Forecasting*, 8(1), 69–80.

- Auer, B., & Rottmann, H. (2012). *Statistik und Ökonometrie für Wirtschaftswissenschaftler: Eine anwendungsorientierte Einführung*. Wiesbaden: Gabler.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., & Weiber, R. (2011). *Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung* (13. Aufl.). Heidelberg [u.a.]: Springer.
- Balachandran, K. R., & Gerwin, D. (1973). Variable-Work Models for Predicting Course Enrollments. *Operations Research*, 21(3), 823–834.
- Balzert, H. (1999). *Lehrbuch der Objektmodellierung: Analyse und Entwurf*. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Bange, C. (2010). Werkzeuge für analytische Informationssysteme. In P. Chamoni & P. Gluchowski (Hrsg.), *Analytische Informationssysteme: Business Intelligence-Technologien und -Anwendungen* (4. Aufl., S. 131–156). Berlin [u.a.]: Springer.
- Banscherus, U. (2010). Hochschulzulassung und Kapazitätsplanung in Westeuropa: Eine Bestandsaufnahme. *Die Hochschule. Journal für Wissenschaft und Bildung*, 2010(2), 40–56.
- Barrot, C. (2007). Prognosegütemaße. In S. Albers, D. Klapper, U. Konradt, A. Walter, & J. Wolf (Hrsg.), *Methodik der empirischen Forschung* (2. Aufl., S. 417–430). Wiesbaden: Gabler.
- Bauer, A., & Günzel, H. (2004). *Data-Warehouse-Systeme: Architektur, Entwicklung, Anwendung* (2. Aufl.). Heidelberg: Dpunkt.
- Bayer, I. (2002). *Strategische und operative Führung von Fakultäten: Herausforderungen durch Autonomie und Wettbewerb*. Frankenthal: Hemmer.
- Bayer, I. (2007). Möglichkeiten der Fakultätssteuerung mit betriebswirtschaftlichen Instrumenten: Chancen und Risiken. In M. Jaeger & M. Leszczensky (Hrsg.), *Hoch-*

- schulinterne Steuerung durch Finanzierungsformeln und Zielvereinbarungen: Dokumentation zur gleichnamigen Tagung am 22. und 23. November 2006 in Hannover* (S. 109–112). Hannover: HIS Hochschul-Informationen GmbH.
- Bea, F. X., & Göbel, E. (2010). *Organisation: Theorie und Gestaltung*. Stuttgart: UTB.
- Beierle, C., & Kern-Isberner, G. (2008). *Methoden wissensbasierter Systeme: Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen* (4. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- Bergmann, R. (2002). *Experience Management: Foundations, Development Methodology, and Internet-Based Applications*. Berlin, New York: Springer.
- Bergmann, R., Althoff, K.-D., Breen, S., Göker, M. H., Manago, M., Traphöner, R., & Wess, S. (2003). *Developing Industrial Case-Based Reasoning Applications: The INRECA Methodology* (2. Aufl.). Berlin, New York: Springer.
- Bergmann, R., Kolodner, J., & Plaza, E. (2005). Representation in Case-Based Reasoning. *The Knowledge Engineering Review*, 20(3), 209–213.
- Bergmann, R., & Stahl, A. (1998). Similarity Measures for Object-Oriented Case Representations. In B. Smyth & P. Cunningham (Hrsg.), *Advances in Case-Based Reasoning: 4th European Workshop, EWCBR-98, Dublin, Ireland, September 23-25, 1998. Proceedings* (S. 25–36). Berlin [u.a.]: Springer.
- Bergmann, R., Wilke, W., Vollrath, I., & Wess, S. (1996). Integrating General Knowledge with Object-Oriented Case Representation and Reasoning. In H.-D. Burkhard & S. Wess (Hrsg.), *4th German Workshop on Case-Based Reasoning - System Development and Evaluation* (S. 120–127). Berlin: Humboldt-Universität.
- Bessent, E. W., & Bessent, A. M. (1980). Student Flow in a University Department: Results of a Markov Analysis. *Interfaces*, 10(2), 52–59.

- Betge, P. (1996). Kapazität und Beschäftigung. In W. Kern (Hrsg.), *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft* (2. Aufl., Bd. 7, S. 852–861). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Beyrouthy, C., Burke, E. K., Landa-Silva, D., McCollum, B., McMullan, P., & Parkes, A. J. (2006a). The Teaching Space Allocation Problem with Splitting. In E. K. Burke & H. Rudová (Hrsg.), *Practice and Theory of Automated Timetabling VI: 6th International Conference, PATAT 2006, Brno, Czech Republic, August 30-September 1, 2006. Revised Selected Papers* (S. 228–247). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Beyrouthy, C., Burke, E. K., Landa-Silva, D., McCollum, B., McMullan, P., & Parkes, A. J. (2006b). Understanding the Role of UFOs Within Space Exploitation. In *Practice and Theory of Automated Timetabling VI: Proceedings of the 6th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling, August 30-September 1, 2006* (S. 359–362). Brno, Czech Republic: Masaryk University.
- Beyrouthy, C., Burke, E. K., Landa-Silva, D., McCollum, B., McMullan, P., & Parkes, A. J. (2007). Towards Improving the Utilization of University Teaching Space. *The Journal of the Operational Research Society*, 60(1), 130–143.
- Beyrouthy, C., Burke, E. K., Landa-Silva, D., McCollum, B., McMullan, P., & Parkes, A. J. (2008). *Threshold Effects in the Teaching Space Allocation Problem with Splitting*. Abgerufen von <http://www.cs.nott.ac.uk/~ajp/papers/thresholds-in-space-allocation.pdf>, zuletzt geprüft am 21.05.2014.
- Beyrouthy, C., Burke, E. K., McCollum, B., McMullan, P., & Parkes, A. J. (2010). University space planning and space-type profiles. *Journal of Scheduling*, 13(4), 363–374.
- Blumauer, A., & Pellegrini, T. (2006). Semantic Web und semantische Technologien: Zentrale Begriffe und Unterscheidungen. In A. Blumauer & T. Pellegrini (Hrsg.), *Semantic Web: Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft* (S. 9–25). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

- Blümel, A., Kloke, K., & Krücken, G. (2011). Professionalisierungsprozesse im Hochschulmanagement in Deutschland. In A. Langer & A. Schröer (Hrsg.), *Professionalisierung im Nonprofit Management* (S. 105–127). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Bogumil, J., Burgi, M., Heinze, R. G., Gerber, S., Gräf, I.-D., & Jochheim, L. (2013). *Modernisierung der Universitäten: Umsetzungsstand und Wirkungen neuer Steuerungsinstrumente*. Berlin: Edition Sigma.
- Bolsenkötter, H. (1976). *Ökonomie der Hochschule: Eine betriebswirtschaftliche Untersuchung* (1. Aufl., Bd. 1). Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.
- Bonczek, R. H., Holsapple, C. W., & Whinston, A. B. (1981). *Foundations of Decision Support Systems*. New York: Academic Press.
- Bortz, J., & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (2008). *Time Series Analysis: Forecasting and Control* (4. Aufl.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Brankamp, K. (1979). Kapazitätsbelegung. In W. Kern (Hrsg.), *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft* (1. Aufl., Bd. 7, S. 882–903). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Braun, R., Esswein, W., & Greiffenberg, S. (2006). *Einführung in die Programmierung: Grundlagen, Java, UML*. Berlin, New York: Springer.
- Breitman, K. K., Casanova, M. A., & Truszkowski, W. (2007). *Semantic Web: Concepts, Technologies and Applications*. New York: Springer.
- Breslaw, J. A. (1976). A Linear Programming Solution to the Faculty Assignment Problem. *Socio-Economic Planning Sciences*, 10(6), 227–230.

- Bretzke, W.-R. (1975). *Das Prognoseproblem bei der Unternehmensbewertung: Ansätze zu einer risikoorientierten Bewertung ganzer Unternehmungen auf der Grundlage modellgestützter Erfolgsprognosen*. Düsseldorf: IdW-Verlag.
- Brinkman, P. T., & McIntyre, C. (1997). Methods and Techniques of Enrollment Forecasting. *New Directions for Institutional Research*, 1997(93), 67–80.
- Britney, R. R. (1975). Forecasting Educational Enrolments: Comparison of a Markov Chain and Circuitless Flow Network Model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 9(2), 53–60.
- Brockhoff, K. (1977). *Prognoseverfahren für die Unternehmensplanung*. Wiesbaden: Gabler.
- Browne, D., Desmeijter, B., Frealdo Dumont, R., Kamal, A., & Leahy, J. (2010). *IBM Cognos Business Intelligence V10.1 Handbook*. San Jose, CA: Vervante.
- Browne, P. (2009). *JBoss Drools Business Rules: Capture, Automate, and Reuse Your Business Processes in a Clear English Language that Your Computer Can Understand*. Birmingham, U.K.: Packt Publishing.
- Brunsson, N., & Sahlin-Andersson, K. (2000). Constructing Organizations: The Example of Public Sector Reform. *Organization Studies*, 21(4), 721–746.
- Bühl, A. (2012). *SPSS 20: Einführung in die moderne Datenanalyse*. München [u.a.]: Pearson.
- Burgess, T. F. (1996). Planning the academic's workload: different approaches to allocating work to university academics. *Higher Education*, 32(1), 63–75.
- Burgess, T. F., Lewis, H. A., & Mobbs, T. (2003). Academic Workload Planning Revisited. *Higher Education*, 46(2), 215–233.

- Burns, E., & Schalk, C. (2010). *JavaServer Faces 2.0: The Complete Reference*. New York [u.a.]: McGraw-Hill.
- Chambers, J. C., Mullick, S. K., & Smith, D. D. (1971). How to Choose the Right Forecasting Technique. *Harvard Business Review*, 49(4), 45–70.
- Chamoni, P., & Gluchowski, P. (2000). On-Line Analytical Processing (OLAP). In H. Mucksch & W. Behme (Hrsg.), *Das Data Warehouse-Konzept: Architektur - Datenmodelle - Anwendungen* (4. Aufl., S. 333–376). Wiesbaden: Gabler.
- Chang, P.-C., Liu, C.-H., & Lai, R. K. (2008). A Fuzzy Case-Based Reasoning Model for Sales Forecasting in Print Circuit Board Industries. *Expert Systems with Applications*, 34(3), 2049–2058.
- Coad, P., & Yourdon, E. (1991). *Object-Oriented Analysis* (2. Aufl.). Englewood Cliffs, NJ: Yourdon Press.
- Coad, P., & Yourdon, E. (1994). *OOD: Objektorientiertes Design*. New York [u.a.]: Prentice Hall.
- Cohen, M. D., March, J. G., & Olsen, J. P. (1972). A Garbage Can Model of Organizational Choice. *Administrative Science Quarterly*, 17(1), 1–25.
- Corsten, H. (1992). Kapazitätsplanung in Dienstleistungsunternehmen. In H. Corsten, H. Müller-Merbach, & R. Köhler (Hrsg.), *Kapazitätsmessung, Kapazitätsgestaltung, Kapazitätsoptimierung: eine betriebswirtschaftliche Kernfrage* (S. 229–254). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Corsten, H. (2000). *Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement*. München: Oldenbourg.
- Crone, S. F. (2010). *Neuronale Netze zur Prognose und Disposition im Handel*. Wiesbaden: Gabler.

- Cunningham, P. (1998). CBR: Strengths and Weaknesses. In A. Pasqual del Pobil, J. Mira, & M. Ali (Hrsg.), *Tasks and Methods in Applied Artificial Intelligence: 11th International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems IEA-98-AIE, Benicàssim, Castellón, Spain, June 1–4, 1998. Proceedings, Volume II* (S. 517–524). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Cunningham, P. (1999). Knowledge Engineering Issues in Developing a Case-Based Reasoning Application. *Knowledge-Based Systems*, 12(7), 371–379.
- Davis, R., & King, J. J. (1984). The Origin of Rule-Based Systems in AI. In B. G. Buchanan & E. H. Shortliffe (Hrsg.), *Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project* (S. 20–52). Reading, MA: Addison-Wesley.
- Denton, J. W. (1995). How Good are Neural Networks for Causal Forecasting? *Journal of Business Forecasting Methods & Systems*, 14(2), 17–20.
- Díaz-Agudo, B., González-Calero, P. A., Recio-García, J. A., & Sánchez-Ruiz-Granados, A. A. (2007). Building CBR systems with jCOLIBRI. *Science of Computer Programming*, 69(1-3), 68–75.
- Ederleh, J. (2003). Hochschulfinanzierung und Hochschulcontrolling mit Kennzahlen. In H. Albach & P. Mertens (Hrsg.), *Hochschulmanagement* (S. 147–159). Wiesbaden: Gabler.
- Elstermann, G. (1971). Kapazitätsmodelle - Ein Überblick. In G. Elstermann (Hrsg.), *Ausbildungskapazität: eine Zwischenbilanz* (S. 17–28). Göttingen: Schwartz.
- Fantapié Altobelli, C. (2011). *Marktforschung: Methoden - Anwendungen - Praxisbeispiele* (2. Aufl.). Konstanz, München: UVK Verlagsgesellschaft mbH.

- Fayad, M., & Schmidt, D. C. (1997). Object-Oriented Application Frameworks. *Communications of the ACM*, 40(10), 32–38.
- Fdez-Riverola, F., & Corchado, J. M. (2003). CBR based System for Forecasting Red Tides. *Knowledge-Based Systems*, 16(5-6), 321–328.
- Fizzano, P., & Swanson, S. (2000). Scheduling Classes on a College Campus. *Computational Optimization and Applications*, 16(3), 279–294.
- Franconi, E., Baader, F., Sattler, U., & Vassiliadis, P. (2003). Multidimensional Data Models and Aggregation. In M. Jarke, M. Lenzerini, Y. Vassiliou, & P. Vassiliadis (Hrsg.), *Fundamentals of Data Warehouses* (2. Aufl., S. 87–105). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Frank, U. (2000). Die Evaluation von Artefakten: Eine zentrale Herausforderung der Wirtschaftsinformatik. In L. J. Heinrich (Hrsg.), *Evaluation und Evaluationsforschung in der Wirtschaftsinformatik* (S. 35–48). München [u.a.]: Oldenbourg.
- Froese, A. (2012). *Organisation der Forschungsuniversität: Eine handlungstheoretische Effizienzanalyse*. Wiesbaden: Gabler.
- Gaither, G. H., Dukes, F. O., & Swanson, J. R. (1981). Enrollment Forecasting: Use of a Multiple-Method Model for Planning and Budgeting. *Decision Sciences*, 12(2), 217–230.
- Gelhoet, M. (2009). *Simulationsbasierte Unterstützung bei der Gestaltung von Entscheidungsalgorithmen: Konzeption und prototypische Realisierung am Beispiel der Ressourcenallokation im Hochschulwesen*. Osnabrück: Universität Osnabrück.
- Gericke, A., & Winter, R. (2009). Entwicklung eines Bezugsrahmens für Konstruktionsforschung und Artefaktkonstruktion in der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. In J. Becker, H. Krcmar, & B. Niehaves (Hrsg.), *Wissenschaftstheorie*

- und gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik (S. 195–210). Heidelberg: Physica-Verlag.
- Gluchowski, P., & Chamoni, P. (2010). Entwicklungslinien und Architekturkonzepte des On-Line Analytical Processing. In P. Chamoni & P. Gluchowski (Hrsg.), *Analytische Informationssysteme: Business Intelligence-Technologien und -Anwendungen* (4. Aufl., S. 197–228). Berlin [u.a.]: Springer.
- Gluchowski, P., Gabriel, R., & Dittmar, C. (2008). *Management-Support-Systeme und Business Intelligence: Computergestützte Informationssysteme für Fach- und Führungskräfte*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Goeken, M., & Burmester, L. (2004). Entwurf und Umsetzung einer Business-Intelligence-Lösung für ein Fakultätscontrolling. In P. Chamoni, W. Deiters, N. Gronau, R.-D. Kutsche, P. Loos, H. Müller-Merbach, ... Sandkuhl (Hrsg.), *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI) 2004* (Bd. 2, S. 137–152). Berlin: Akademische Verlagsgesellschaft Aka GmbH.
- Goodwin, P., & Fildes, R. (1999). Judgmental Forecasts of Time Series Affected by Special Events: Does Providing a Statistical Forecast Improve Accuracy? *Journal of Behavioral Decision Making*, 12(1), 37–53.
- Gorry, G. A., & Scott Morton, M. S. (1971). A Framework for Management Information Systems. *Sloan Management Review*, 13(1), 55–70.
- Gray, J., Chaudhuri, S., Bosworth, A., Layman, A., Reichart, D., Venkatrao, M., ... Pirahesh, H. (1997). Data Cube: A Relational Aggregation Operator Generalizing Group-By, Cross-Tab, and Sub-Totals. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 1(1), 29–53.

- Gruber, T. R. (1993). A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition*, 5(2), 199–220.
- Gu, M., & Aamodt, A. (2006). Evaluating CBR Systems Using Different Data Sources: A Case Study. In T. R. Roth-Berghofer, M. H. Göker, & H. A. Güvenir (Hrsg.), *Advances in case-based reasoning: 8th European Conference, ECCBR 2006, Fethiye, Turkey, September 4-7, 2006. Proceedings* (S. 121–135). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hackl, P., & Sedlacek, G. (2002). Analyse der Studiendauer am Beispiel der Wirtschaftsuniversität Wien. In R. Dutter (Hrsg.), *Festschrift 50 Jahre Österreichische Statistische Gesellschaft* (S. 41–59). Wien: Österreichische Statistische Gesellschaft.
- Häder, M. (2009). *Delphi-Befragungen: Ein Arbeitsbuch* (2. Aufl.). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Hammond, K. J. (1989). *Case-Based Planning: Viewing Planning as a Memory Task*. San Diego, CA: Academic Press.
- Hansmann, K.-W. (1983). *Kurzlehrbuch Prognoseverfahren: Mit Aufgaben und Lösungen*. Wiesbaden: Gabler.
- Harden, W. R., & Tcheng, M. T. (1971). Projection of Enrollment Distribution with Enrollment Ceilings by Markov Processes. *Socio-Economic Planning Sciences*, 5(5), 467–473.
- Heinen, E. (1976a). *Grundfragen der entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre*. München: Goldman.
- Heinen, E. (1976b). *Grundlagen betriebswirtschaftlicher Entscheidungen: Das Zielsystem der Unternehmung*. Wiesbaden: Gabler.
- Heinrichs, W. (2010). *Hochschulmanagement*. München: Oldenbourg.

- Hitzler, P., Krötzsch, M., Rudolph, S., & Sure, Y. (2008). *Semantic Web: Grundlagen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hödl, E. (1996). Modelle fortentwickeln: Sechs Thesen zu Globalhaushalten. *Forschung & Lehre*, 1996(8), 418–421.
- Hödl, E., & Zegelin, W. (1999). *Hochschulreform und Hochschulmanagement: Eine kritische Bestandsaufnahme der aktuellen Diskussion*. Marburg: Metropolis.
- Hoffer, J. (1974). *Zur Problematik der Planung im Hochschulbereich. Methodische und organisatorische Aspekte der Hochschulplanung in der Bundesrepublik Deutschland*. Köln [u.a.]: Heymanns.
- Holsapple, C. W., & Whinston, A. B. (1996). *Decision Support Systems: A Knowledge-Based Approach* (10. Aufl.). Minneapolis/St. Paul [u.a.]: West Group.
- Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., & van Harmelen, F. (2003). From SHIQ and RDF to OWL: The Making of a Web Ontology Language. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 1(1), 7–26.
- Hubig, L. (2009). *Die Universität: Leistungsmessung und -bewertung in einer komplexen Organisation*. Lohmar: Eul.
- Hüttner, M. (1986). *Prognoseverfahren und ihre Anwendung*. Berlin [u.a.]: De Gruyter.
- Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, 22(4), 679–688.
- Inmon, W. H. (2002). *Building the Data Warehouse* (3. Aufl.). New York [u.a.]: Wiley.
- Ireland, C., Bowers, D., Newton, M., & Waugh, K. (2009). Understanding Object-Relational Mapping: A Framework Based Approach. *International Journal On Advances in Software*, 2(2&3), 202–216.

- Jære, M., Aamodt, A., & Skalle, P. (2002). Representing Temporal Knowledge for Case-Based Prediction. In S. Craw & A. Preece (Hrsg.), *Advances in case-based reasoning: 6th European Conference, ECCBR 2002, Aberdeen, Scotland, UK, September 4-7, 2002. Proceedings* (S. 174–188). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Johnson, D. M. (2001). Lessons Learned from Industry: Applying Capacity Planning in an Institution for Higher Education. *Managerial Finance*, 27(5), 17–32.
- Johnson, R. E., & Foote, B. (1988). Designing Reusable Classes. *Journal of Object-Oriented Programming*, 1(2), 22–35.
- Johnstone, J. N., & Philp, H. (1973). The Application of a Markov Chain in Educational Planning. *Socio-Economic Planning Sciences*, 7(3), 283–294.
- Kappel, G., Pröll, B., Reich, S., & Retschitzegger, W. (2004). Web Engineering - Die Disziplin zur systematischen Entwicklung von Web-Anwendungen. In G. Kappel, B. Pröll, S. Reich, & W. Retschitzegger (Hrsg.), *Web Engineering: Systematische Entwicklung von Webanwendungen* (1. Aufl., S. 1–28). Heidelberg: Dpunkt.
- Keen, P. G. W., & Scott Morton, M. S. (1978). *Decision Support Systems: An Organizational Perspective*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Kehm, B. M. (2012). Hochschulen als besondere und unvollständige Organisationen? - Neue Theorien zur „Organisation Hochschule“. In U. Wilkesmann & C. J. Schmid (Hrsg.), *Hochschule als Organisation* (S. 17–25). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kemper, H.-G., Baars, H., & Mehanna, W. (2010). *Business Intelligence - Grundlagen und praktische Anwendungen. Eine Einführung in die IT-basierte Managementunterstützung* (3. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg+Teubner.

- Kern, W. (1962). *Die Messung industrieller Fertigungskapazitäten und ihrer Ausnutzung: Grundlagen und Verfahren*. Köln, Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Kern, W. (1989). Kapazitätsplanung, globale. In K. Macharzina (Hrsg.), *Handwörterbuch Export und internationale Unternehmung* (S. 1073–1084). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Kern, W. (1993). Kapazität. In K. Chmielewicz & M. Schweitzer (Hrsg.), *Handwörterbuch des Rechnungswesens* (3. Aufl., S. 1055–1063). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Kleimann, B. (2011). Professionalisierung der Hochschulleitung? In A. Langer & A. Schröder (Hrsg.), *Professionalisierung im Nonprofit Management* (S. 201–226). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Klein, R., & Scholl, A. (2011). *Planung und Entscheidung: Konzepte, Modelle und Methoden einer modernen betriebswirtschaftlichen Entscheidungsanalyse* (2. Aufl.). München: Vahlen.
- Klinge, R. C. (1997). *Kapazitätsplanung in Dienstleistungsunternehmen: Planungs- und Gestaltungsprobleme*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Koch, H. (1982). *Integrierte Unternehmensplanung*. Wiesbaden: Gabler.
- Kohmann, O. (2012). *Strategisches Management von Universitäten und Fakultäten*. Wiesbaden: Gabler.
- Kohn, W., & Öztürk, R. (2013). *Statistik für Ökonomen: Datenanalyse mit R und SPSS* (2. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kolodner, J. (1983). Maintaining Organization in a Dynamic Long-Term Memory. *Cognitive Science*, 7(4), 243–280.
- Kolodner, J. (1991). Improving Human Decision Making through Case-Based Decision Aiding. *AI Magazine*, 12(2), 52–68.

- Kolodner, J. (1992). An Introduction to Case-Based Reasoning. *Artificial Intelligence Review*, 6(1), 3–34.
- Kolodner, J. (1993). *Case-based Reasoning*. San Mateo: Morgan Kaufmann.
- Kolodner, J., Simpson, R. L., & Sycara-Cryanski, K. (1985). A Process Model of Case-Based Reasoning in Problem Solving. In A. Joshi (Hrsg.), *Proceedings of the Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI-85* (Bd. 1, S. 284–290). Los Angeles, CA: Morgan Kaufmann.
- Kosiol, E. (1968). *Einführung in die Betriebswirtschaftslehre: Die Unternehmung als wirtschaftliches Aktionszentrum*. Wiesbaden: Gabler.
- Kostuch, P. (2005). The University Course Timetabling Problem with a Three-Phase Approach. In E. K. Burke & M. Trick (Hrsg.), *Practice and Theory of Automated Timetabling V: 5th International Conference, PATAT 2004, Pittsburgh, PA, USA, August 18-20, 2004. Revised Selected Papers* (S. 109–125). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kraft, C. R., & Jarvis, J. P. (2005). *An Adaptive Model for Predicting Course Enrollment* (Technical Report No. 2005-11). Clemson, South Carolina: Department of Mathematical Science, Clemson University. Abgerufen von http://www.clemson.edu/ces/math/technical_reports/TR2005_11_KJ.pdf, zuletzt geprüft am 21.05.2014.
- Krallmann, H., & Rieger, B. (2001). Entscheidungsunterstützendes System (EUS). In P. Mertens & A. Back (Hrsg.), *Lexikon der Wirtschaftsinformatik* (4. Aufl., S. 186–187). Berlin [u.a.]: Springer.
- Kühl, S. (2012). *Der Sudoku-Effekt: Hochschulen im Teufelskreis der Bürokratie: Eine Streitschrift*. Bielefeld: Transcript.

- Kühler, L. (2006). *Hochschulreform in Deutschland nach amerikanischem Vorbild: Chancen, Möglichkeiten und Grenzen*. Saarbrücken: VDM, Verl. Dr. Müller.
- Küpper, H.-U. (1998). Planung und Kontrolle in Universitäten. In H.-U. Küpper & E. Sinz (Hrsg.), *Gestaltungskonzepte für Hochschulen: Effizienz, Effektivität, Evolution* (S. 133–151). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Küpper, H.-U. (2006). *Entwicklungstendenzen der betriebswirtschaftlichen Ausbildung an einer öffentlichen Hochschule* (Discussion paper No. 2006 - 06). München: Fakultät für Betriebswirtschaft - Ludwig-Maximilians-Universität München. Abgerufen von http://epub.ub.uni-muenchen.de/1239/1/discussion_paper_06.pdf, zuletzt geprüft am 21.05.2014.
- Küpper, H.-U. (2010). Steuerungsinstrumente für Hochschulen. In R. von Lüde (Hrsg.), *Neue Wege der Hochschulgovernance: Symposium zum Hochschulmanagement an der Fakultät Wirtschafts- und Sozialwissenschaften der Universität Hamburg* (S. 61–90). Hamburg: Hamburg University Press.
- Küpper, H.-U., & Tropp, G. (2004). Doppik und Kameralistik. In A. Hanft (Hrsg.), *Grundbegriffe des Hochschulmanagements* (S. 86–92). Bielefeld: UVW Universitäts Verlag Webler.
- Kurbel, K. (1992). *Entwicklung und Einsatz von Expertensystemen: Eine anwendungsorientierte Einführung in wissenbasierte Systeme* (2. Aufl.). Berlin [u.a.]: Springer.
- Küsters, U. (2012). Evaluation, Kombination und Auswahl betriebswirtschaftlicher Prognoseverfahren. In P. Mertens & S. Rässler (Hrsg.), *Prognoserechnung* (7. Aufl., S. 423–467). Heidelberg: Physica-Verlag.

- Kwak, N. K., Brown, R., & Schiederjans, M. J. (1986). A Markov Analysis of Estimating Student Enrollment Transition in a Trimester Institution. *Socio-Economic Planning Sciences*, 20(5), 311–318.
- Lahres, B., & Raýman, G. (2009). *Objektorientierte Programmierung: Das umfassende Handbuch* (2. Aufl.). Bonn: Galileo Press.
- Lange, N., & Horch, F. (2007). Ressourcenallokation am Beispiel einer Technischen Fakultät. In M. Jaeger & M. Leszczensky (Hrsg.), *Hochschulinterne Steuerung durch Finanzierungsformeln und Zielvereinbarungen: Dokumentation zur gleichnamigen Tagung am 22. und 23. November 2006 in Hannover* (S. 65–70). Hannover: HIS Hochschul-Informationen GmbH.
- Layer, M. (1979). Kapazität: Begriff, Arten und Messung. In W. Kern (Hrsg.), *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft* (Bd. 7, S. 871–882). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Leake, D. B., & Sooriamurthi, R. (2002). Managing Multiple Case Bases: Dimensions and Issues. In S. M. Haller & G. Simmons (Hrsg.), *Proceedings of the Fifteenth FLAIRS Conference* (S. 106–110). Pensacola Beach, Florida, USA: AAAI Press.
- Leake, D. B., & Wilson, D. C. (1999). When Experience is Wrong: Examining CBR for Changing Tasks and Environments. In K.-D. Althoff, R. Bergmann, & L. K. Branting (Hrsg.), *Case-Based Reasoning Research and Development: Third International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR-99, Seeon Monastery, Germany, July 27-30, 1999. Proceedings* (S. 218–232). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Leathem, B., Fryc, L., & Rogers, S. (o. J.). *Develop applications using RichFaces 4* (Developer Guide). Abgerufen von

- http://docs.jboss.org/richfaces/latest_4_3_X/Developer_Guide/en-US/pdf/Developer_Guide.pdf, zuletzt geprüft am 21.05.2014.
- Lee, W. Y., Goodwin, P., Fildes, R., Nikolopoulos, K., & Lawrence, M. (2007). Providing support for the use of analogies in demand forecasting tasks. *International Journal of Forecasting*, 23(3), 377–390.
- Leichsenring, H. (2007). *Die Professionalisierung des Fakultätsmanagements: Bericht zur Befragung 2006*. Gütersloh: CHE.
- Leimeister, J. M. (2012). *Dienstleistungsengineering und -management*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Lenz, M., & Burkhard, H.-D. (1996). Case Retrieval Nets: Basic Ideas and Extensions. In G. Görz & S. Hölldobler (Hrsg.), *KI-96: Advances in Artificial Intelligence: 20th Annual German Conference on Artificial Intelligence, Dresden, Germany, September 17-19, 1996. Proceedings* (S. 227–239). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Lenz, M., Hübner, A., & Kunze, M. (1998). Textual CBR. In M. Lenz, B. Bartsch-Spörl, H.-D. Burkhard, & S. Wess (Hrsg.), *Case-Based Reasoning Technology: From Foundations to Applications* (S. 115–137). Berlin [u.a.]: Springer.
- Lewis, C. D. (1998). *Demand Forecasting and Inventory Control: A Computer Aided Learning Approach*. New York: Wiley.
- Liesegang, G. (2000). Kapazität. In H. Corsten (Hrsg.), *Lexikon der Betriebswirtschaftslehre* (4. Aufl., S. 424–429). München [u.a.]: Oldenbourg.
- Liu, J. N. K., & Leung, T. T. S. (2001). A Web-based CBR Agent for Financial Forecasting. In *Proceedings of the Workshop Program at the 4th International Conference on Case-Based Reasoning 2001*. (S. 243–253). Vancouver, BC, Canada.

- Lopez De Mantaras, R., McSherry, D., Bridge, D., Leake, D., Smyth, B., Craw, S., ... Watson, I. (2005). Retrieval, Reuse, Revision and Retention in Case-Based Reasoning. *The Knowledge Engineering Review*, 20(3), 215–240.
- Löwer, W. (2012). Ein Jahrzehnt Hochschulreform in Deutschland. *Zeitschrift für Hochschulrecht, Hochschulmanagement und Hochschulpolitik: zfhr*, 11(1), 7–23.
- Lupiani, E., Craw, S., Massie, S., Juarez, J. M., & Palma, J. T. (2013). A Multi-Objective Evolutionary Algorithm Fitness Function for Case-Base Maintenance. In S. Delany & S. Ontañón (Hrsg.), *Case-Based Reasoning Research and Development: 21st International Conference, ICCBR 2013, Saratoga Springs, NY, USA, July 8-11, 2013. Proceedings* (S. 218–232). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Macharzina, K. (1975). Reduktion von Ungewissheit und Komplexität durch Prognose und Planung. *Management International Review*, 15(6), 29–42.
- Macharzina, K., & Wolf, J. (2012). *Unternehmensführung: Das internationale Managementwissen: Konzepte - Methoden - Praxis*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Mag, W. (1977). *Entscheidung und Information* (1. Aufl.). München: Vahlen.
- Mag, W. (1995). *Unternehmensplanung*. München: Vahlen.
- Makridakis, S. (1993). Accuracy Measures: Theoretical and Practical Concerns. *International Journal of Forecasting*, 9(4), 527–529.
- Makridakis, S., & Hibon, M. (1995). *Evaluating Accuracy (or Error) Measures* (INSEAD Working Papers 95/18/TM). Fontainebleau, France: INSEAD. Abgerufen von <http://www.insead.edu/facultyresearch/research/doc.cfm?did=46875>, zuletzt geprüft am 21.05.2014.
- Makridakis, S., & Hibon, M. (2000). The M3-Competition: results, conclusions and implications. *International Journal of Forecasting*, 16(4), 451–476.

- Makridakis, S., & Wheelwright, S. C. (1989). *Forecasting Methods for Management* (5. Aufl.). New York: Wiley.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1998). *Forecasting: Methods and Applications* (3. Aufl.). New York: Wiley.
- Martino, J. P. (1993). *Technological Forecasting for Decision Making* (3. Aufl.). New York [u.a.]: McGraw-Hill.
- May, W. (2006). Reasoning im und für das Semantic Web. In T. Pellegrini & A. Blumauer (Hrsg.), *Semantic Web: Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft* (S. 485–503). Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- McIntyre, S. H., Achabal, D. D., & Miller, C. M. (1993). Applying Case-Based Reasoning to Forecasting Retail Sales. *Journal of Retailing*, 69(4), 372–398.
- Meier, F. (2009). *Die Universität als Akteur: Zum institutionellen Wandel der Hochschulorganisation*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Meier, F., & Schimank, U. (2009). Matthäus schlägt Humboldt? New Public Management und die Einheit von Forschung und Lehre. *Beiträge zur Hochschulforschung*, 31(1), 42–61.
- Mentzer, J. T., & Gomes, R. (1989). Evaluating a Decision Support Forecasting System. *Industrial Marketing Management*, 18(4), 313–323.
- Mentzer, J. T., & Kahn, K. B. (1995). Forecasting Technique Familiarity, Satisfaction, Usage, and Application. *Journal of Forecasting*, 14(5), 465–476.
- Mentzer, J. T., & Moon, M. A. (2005). *Sales Forecasting Management: A Demand Management Approach* (2. Aufl.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Mesarovic, M. D., Macko, D., & Takahara, Y. (1970). *Theory of Hierarchical, Multilevel, Systems*. New York [u.a.]: Academic Press.

- Minor, M. (2006). *Erfahrungsmanagement mit fallbasierten Assistenzsystemen – Prozesse, Konzepte und Anwendungsbeispiele in einem ganzheitlichen Rahmenwerk*. Berlin: Humboldt-Universität.
- Mintzberg, H. (1983). *Structure in Fives: Designing Effective Organizations*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Mintzberg, H. (1991). *Mintzberg über Management: Führung und Organisation, Mythos und Realität*. Wiesbaden: Gabler.
- Montani, S., & Portinale, L. (2005). Case Based Representation and Retrieval with Time Dependent Features. In H. Muñoz-Ávila & F. Ricci (Hrsg.), *Case-Based Reasoning Research and Development: 6th International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR 2005, Chicago, IL, USA, August 23-26, 2005. Proceedings* (S. 353–367). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Montani, S., & Portinale, L. (2006). Accounting for the Temporal Dimension in Case-based Retrieval: A Framework for Medical Applications. *Computational Intelligence*, 22(3-4), 208–223.
- Moog, H. (2005). *IT-Dienste an Universitäten und Fachhochschulen: Reorganisation und Ressourcenplanung der hochschulweiten IT-Versorgung*. Hannover: HIS Hochschul-Informationen GmbH.
- Neusser, K. (2011). *Zeitreihenanalyse in den Wirtschaftswissenschaften*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Nickel, S. (2007). *Partizipatives Management von Universitäten: Zielvereinbarungen - Leitungsstrukturen - Staatliche Steuerung*. München, Mering: Hampp.
- Niedersächsisches Hochschulgesetz (NHG) in der Fassung vom 26. Februar 2007 (2007).
Abgerufen von <http://www.nds->

- vo-
ris.de/jportal/?quelle=jlink&query=HSchulG+ND+Inhaltsverzeichnis&psml=bsvor
isprod.psml&max=true, zuletzt geprüft am 21.05.2014.
- o.V. (2008). *Prüfungsordnung für den Bachelorstudiengang „Wirtschaftswissenschaft“*
(Amtliches Mitteilungsblatt No. 02/2008) (S. 191–224). Osnabrück: Universität
Osnabrück. Abgerufen von [http://www.pruefungsamtfb9.uni-osnabrueck.de/PO-
Bachelor-Wirtschaftswiss_2008-04.pdf](http://www.pruefungsamtfb9.uni-osnabrueck.de/PO-Bachelor-Wirtschaftswiss_2008-04.pdf), zuletzt geprüft am 21.05.2014.
- o.V. (2009). *Hochschulentwicklungsplan: Teil I - Institutionelle Entwicklungsziele*. Osnab-
rück: Universität Osnabrück. Abgerufen von [http://www.uni-
osnabrueck.de/images/PStDokumente/UOS_HEP_2009.pdf](http://www.uni-osnabrueck.de/images/PStDokumente/UOS_HEP_2009.pdf), zuletzt geprüft am
21.05.2014.
- o.V. (2013a). Drools Expert User Guide. Abgerufen von
[http://docs.jboss.org/drools/release/6.0.0.Beta5/drools-expert-docs/pdf/drools-
expert-docs.pdf](http://docs.jboss.org/drools/release/6.0.0.Beta5/drools-expert-docs/pdf/drools-expert-docs.pdf), zuletzt geprüft am 21.05.2014.
- o.V. (2013b). OptaPlanner User Guide. Abgerufen von
[http://docs.jboss.org/drools/release/6.0.0.Beta5/optaplanner-docs/pdf/optaplanner-
docs.pdf](http://docs.jboss.org/drools/release/6.0.0.Beta5/optaplanner-docs/pdf/optaplanner-docs.pdf), zuletzt geprüft am 21.05.2014.
- Ossadnik, W. (2008). Planung und Entscheidung. In H. Corsten & M. Reiß (Hrsg.), *Be-
triebswirtschaftslehre* (4. Aufl., Bd. 2, S. 1–80). München; Wien: Oldenbourg.
- Österle, H., Becker, J., Frank, U., Hess, T., Karagiannis, D., Kremer, H., ... Sinz, E.
(2010). Memorandum zur gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. In H. Ös-
terle, R. Winter, & W. Brenner (Hrsg.), *Gestaltungsorientierte Wirtschaftsinforma-
tik: Ein Plädoyer für Rigor und Relevanz* (S. 1–6). Nürnberg: Infowerk.

- Pack, M. (1993). *Kapazitätsmessung und Kapazitätsplanung in Dienstleistungsbetrieben mit Handwerkscharakter am Beispiel der Kraftfahrzeug-Werkstätten*. Frankfurt am Main, New York: Peter Lang.
- Parkes, A. J., McCollum, B., McMullan, P., & Burke, E. K. (2009). Recent Work on Planning and Management of University Teaching Space. In J. Blazewicz, M. Drozdowski, G. Kendall, & B. McCollum (Hrsg.), *Proceedings of the 4th Multidisciplinary International Scheduling Conference: Theory and Applications (MISTA 2009), 10-12 Aug 2009, Dublin, Ireland* (S. 737–740). Dublin, Ireland.
- Partovi, F. Y., & Arinze, B. (1995). A Knowledge Based Approach to the Faculty-course Assignment Problem. *Socio-Economic Planning Sciences*, 29(3), 245–256.
- Pellert, A. (2006). Die Leitung von Universitäten oder die Herausforderung Hochschulmanagement. In H. Welte, M. Auer, & C. Meister-Scheytt (Hrsg.), *Management von Universitäten: Zwischen Tradition und (Post-)Moderne* (2. Aufl., S. 47–59). München, Mering: Hampp.
- Petzina, D. (2005). Der Bologna-Prozess in Deutschland – Stand und Perspektiven. *Beiträge zur Hochschulforschung*, 27(3), 18–36.
- Pfohl, H.-C., & Stölzle, W. (1996). Funktionen und Prozesse der Planung. *Wirtschaftswissenschaftliches Studium: WiSt*, 25(5), 233–237.
- Pfohl, H.-C., & Stölzle, W. (1997). *Planung und Kontrolle: Konzeption, Gestaltung, Implementierung* (2. Aufl.). München: Vahlen.
- Pöppelmann, D. (2011). A Refined Case-Based Reasoning Approach to Academic Capacity planning. In R. Maier (Hrsg.), *6th Conference on Professional Knowledge Management: From Knowledge to Action, February 21-23, 2011, Innsbruck, Austria. Proceedings* (S. 395–399). Bonn: Gesellschaft für Informatik.

- Pöppelmann, D. (2014). Case-Based Forecasts Enhancing Decision Support for Capacity-Planning in Higher Education. In A. Henrich & H.-C. Sperker (Hrsg.), *LWA 2013. Lernen, Wissen & Adaptivität. Workshop Proceedings* (S. 223–230). Bamberg: opus.
- Postert, S. (2001). *Gestaltungspotentiale eines MSS-gestützten Hochschulmanagements am Beispiel der Universität Osnabrück*. Osnabrück: Universität Osnabrück.
- Power, D. J. (2002). *Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers*. Westport, CT: Quorum Books.
- Power, D. J., & Sharda, R. (2007). Model-driven decision support systems: Concepts and research directions. *Decision Support Systems*, 43(3), 1044–1061.
- Power, D. J., & Sharda, R. (2009). Decision Support Systems. In S. Y. Nof (Hrsg.), *Springer Handbook of Automation* (S. 1539–1548). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Ram, B., Sarin, S., & Mallik, A. (1987). A Methodology for Projecting Course Demands in Academic Programs. *Computers & Industrial Engineering*, 12(2), 99–103.
- Recio García, J. A. (2008). *jCOLIBRI: A multi-level platform for building and generating CBR systems* (PhD Thesis (condensed version)). Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Recio García, J. A., Díaz-Agudo, B., & Gonzáles-Calero, P. A. (2008). jColibri2 Tutorial. Abgerufen von <http://gaia.fdi.ucm.es/files/people/juanan/jcolibri/downloads/tutorial.pdf>, zuletzt geprüft am 21.05.2014.
- Recio-Garíá, J. A., & Díaz-Agudo, B. (2007). Ontology based CBR with jCOLIBRI. In R. Ellis, T. Allen, & A. Tuson (Hrsg.), *Applications and Innovations in Intelligent Systems XIV: Proceedings of AI-2006, the Twenty-sixth SGAI International Confer-*

- ence on Innovative Techniques and Applications of Artificial Intelligence* (S. 149–162). London: Springer.
- Reibnitz, U. von. (1992). *Szenario-Technik: Instrumente für die unternehmerische und persönliche Erfolgsplanung* (2. Aufl.). Wiesbaden: Gabler.
- Reichwald, R. (1998). Universitätsstrukturen und Führungsmechanismen für die Universität der Zukunft. In H.-U. Küpper & E. Sinz (Hrsg.), *Gestaltungskonzepte für Hochschulen: Effizienz, Effektivität, Evolution* (S. 237–258). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Reinartz, T., Iglezakis, I., & Roth-Berghofer, T. R. (2001). Review and Restore for Case-Base Maintenance. *Computational Intelligence*, 17(2), 214–234.
- Reiß, M. (1989). Prognose und Planung. In N. Szyperski (Hrsg.), *Handwörterbuch der Planung* (S. 1628–1637). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Render, B. (1977). Enrollment Forecasting in a Large State System. *Planning for Higher Education*, 6(1), 21–29.
- Richter, M. M. (2003). Fallbasiertes Schließen. In G. Görz, C.-R. Rollinger, & J. Schneeberger (Hrsg.), *Handbuch der Künstlichen Intelligenz* (4. Aufl., S. 407–430). München: Oldenbourg.
- Riege, C., Saat, J., & Bucher, T. (2009). Systematisierung von Evaluationsmethoden in der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. In J. Becker, H. Krcmar, & B. Niehaves (Hrsg.), *Wissenschaftstheorie und gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik* (S. 69–86). Heidelberg: Physica-Verlag.
- Rieger, B., Haarmann, T., Höckmann, E., & Lüttecke, S. (2009). Data Warehouse basierte Entscheidungsunterstützung für das Campus-Management von Hochschulen. In R. Hansen, D. Karagiannis, & H.-G. Fill (Hrsg.), *Business Services: Konzepte, Tech-*

- nologien, Anwendungen: 9. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik (Bd. 2, S. 493–502). Wien: Österreichische Computer Gesellschaft.
- Riesbeck, C. K. (1989). *Inside Case-Based Reasoning*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Rissland, E. L., & Skalak, D. B. (1991). CABARET: Rule Interpretation in a Hybrid Architecture. *International Journal of Man-Machine Studies*, 34(6), 839–887.
- Roth-Berghofer, T. R. (2003). Knowledge Maintenance of Case-Based Reasoning Systems - The SIAM Methodology. *Künstliche Intelligenz - KI*, 17(1), 55–57.
- Russell, S. J., & Norvig, P. (1995). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Sanders, N. R., & Manrodt, K. B. (1994). Forecasting Practices in US Corporations: Survey Results. *Interfaces*, 24(2), 92–100.
- Schaerf, A. (1999). A Survey of Automated Timetabling. *Artificial Intelligence Review*, 13(2), 87–127.
- Schank, R. C. (1983). *Dynamic Memory: A Theory of Reminding and Learning in Computers and People*. New York: Cambridge University Press.
- Schmidt, K. (2011). *Controlling in der Universität: Aufgaben und Instrumente im Kontext von Zielvereinbarungen mit dem Bundesland*. Hamburg: Kovac.
- Schreyögg, G., & Koch, J. (2010). *Grundlagen des Managements: Basiswissen für Studium und Praxis*. Wiesbaden: Gabler.
- Schröder, T. (2004). Der Einsatz leistungsorientierter Ressourcensteuerungsverfahren im deutschen Hochschulsystem. Eine empirische Untersuchung ihrer Ausgestaltung und Wirkungsweise. *Beiträge zur Hochschulforschung*, 26(2), 28–58.

- Schulte-Zurhausen, M. (2010). *Organisation*. München: Vahlen.
- Schweitzer, M. (2003). *Taktische Planung von Dienstleistungskapazitäten: Ein integrierter Ansatz*. Berlin: Duncker & Humblot.
- Slade, S. (1991). Case-Based Reasoning: A Research Paradigm. *AI Magazine*, 12(1), 42–55.
- Smyth, B., & Cunningham, P. (1996). The Utility Problem Analysed. In I. Smith & B. Faltings (Hrsg.), *Advances in Case-Based Reasoning: Third European Workshop EWCBR-96, Lausanne, Switzerland, November 14-16, 1996. Proceedings* (S. 392–399). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Sprague, R. H., & Carlson, E. D. (1982). *Building Effective Decision Support Systems*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Sprague, R. H., & Watson, H. J. (1996). *Decision Support for Management*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Stahl, A. (2004). *Learning of Knowledge-intensive Similarity Measures in Case-Based Reasoning*. Berlin: Dissertation.de.
- Standop, D. (2002). Prognosemethoden, qualitative. In H.-U. Küpper (Hrsg.), *Handwörterbuch Unternehmensrechnung und Controlling* (4. Aufl., S. 1551–1562). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Statistisches Bundesamt. (2006). *Bildung im Zahlenspiegel 2006*. Wiesbaden.
- Steinmann, H., & Schreyögg, G. (2005). *Management: Grundlagen der Unternehmensführung; Konzepte - Funktionen - Fallstudien*. Wiesbaden: Gabler.
- Steven, M. (1996). Kapazitätsgestaltung und -optimierung. In W. Kern (Hrsg.), *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft* (2. Aufl., S. 874–883). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.

- Stich, A. (2010). KapVO „al dente“ – kann die Kapazitätsverordnung den Ansprüchen der Bologna Reform gerecht werden? Ein Werkstattbericht aus Nordrhein-Westfalen. *Die Hochschule. Journal für Wissenschaft und Bildung*, 2010(2), 57–72.
- Strack, C. (1998). *Kennzahlen und Kennzahlssysteme als Controlling-Instrument unter besonderer Berücksichtigung des Hochschulbereichs* (Arbeitspapiere zu Hochschulfragen und Hochschulcontrolling Nr. 5). Kaiserslautern: Universität Kaiserslautern. Abgerufen von https://kluedo.uni-kl.de/files/960/apap_5.pdf, zuletzt geprüft am 21.05.2014.
- Stratmann, F. (2007). Supportprozesse im Personalwesen. In F. Stratmann, P. Altvater, C. Bartels, & Y. Bauer (Hrsg.), *Benchmarking von Supportprozessen in Hochschulen* (Bd. 2007(6), S. 31–44). Hannover: HIS Hochschul-Informationen GmbH.
- Streitferdt, L., & Schaefer, C. (2002). Prognosemethoden, quantitative. In H.-U. Küpper & A. Wagenhofer (Hrsg.), *Handwörterbuch Unternehmensrechnung und Controlling* (4. Aufl., S. 1563–1572). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Sullivan, D. (2001). *Document Warehousing and Text Mining: Techniques for Improving Business Operations, Marketing, and Sales*. New York: Wiley.
- Suslow, S. (1977). Benefits of a cohort survival projection model. *New Directions for Institutional Research*, 1977(13), 19–42.
- Tauberger, A. (2008). *Controlling für die öffentliche Verwaltung*. München, Wien: Oldenbourg.
- Thommen, J.-P., & Achleitner, A.-K. (2012). *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht* (7. Aufl.). Wiesbaden: Gabler.

- Thompson, G. M. (2005). Using Information on Unconstrained Student Demand to Improve University Course Schedules. *Journal of Operations Management*, 23(2), 197–208.
- Tsai, T.-H. (2009). A Temporal Case Retrieval Model to Predict Railway Passenger Arrivals. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8876–8882.
- Turban, E., Sharda, R., & Delen, D. (2011). *Decision Support and Business Intelligence Systems* (9. Aufl.). Boston: Prentice Hall.
- Turner, G. (2001). *Hochschule zwischen Vorstellung und Wirklichkeit: Zur Geschichte der Hochschulreform im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts*. Berlin: Duncker & Humblot.
- Ullenboom, C. (2012). *Java ist auch eine Insel: Das umfassende Handbuch* (10. Aufl.). Bonn: Galileo Press.
- Van der Kooij, A. J. (2007). *Prediction Accuracy and Stability of Regression with Optimal Scaling Transformations*. Leiden, Niederlande: Child & Family Studies and Data Theory (AGP-D), Department of Education and Child Studies, Faculty of Social and Behavioural Sciences, Leiden University.
- Verordnung über die Kapazitätsermittlung zur Vergabe von Studienplätzen (Kapazitätsverordnung -KapVO-), Pub. L. No. Nds.GVBl. Nr.15/2003 (2003). Abgerufen von <http://www.schule.de/22220/kapvo.htm>, zuletzt geprüft am 21.05.2014.
- Volitich, D., & Ruppert, G. (2012). *IBM Cognos Business Intelligence 10: The Official Guide*. New York: McGraw-Hill Professional.
- Watson, I. (2003). *Applying Knowledge Management: Techniques for Building Corporate Memories*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.

- Watson, I., & Marir, F. (1994). Case-Based Reasoning: A Review. *The Knowledge Engineering Review*, 9(4), 327–354.
- Weber, J. (2010). Kapazitätsrecht: Quantität und Gleichheit versus Qualität und Wettbewerb. *Die Hochschule. Journal für Wissenschaft und Bildung*, 2010(2), 73–85.
- Weick, K. E. (1976). Educational Organizations as Loosely Coupled Systems. *Administrative Science Quarterly*, 21(1), 1–19.
- Wenzig, K., & Bacher, J. (2003). *Determinanten des Studienverlaufs: Was beeinflusst den Studienverlauf an der WiSo-Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg? Eine Sekundäranalyse von Daten des Prüfungsamts und der Studentenkanzlei.* (Arbeitsbericht 2003-3). Erlangen-Nürnberg: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät. Abgerufen von http://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/32713/ssoar-2003-wenzig_et_al-Determinanten_des_Studienverlaufs__was.pdf?sequence=1, zuletzt geprüft am 21.05.2014.
- Wess, S. (1995). *Fallbasiertes Problemlösen in wissensbasierten Systemen zur Entscheidungsunterstützung und Diagnostik: Grundlagen, Systeme und Anwendungen.* Kaiserslautern: Universität Kaiserslautern.
- Wild, J. (1982). *Grundlagen der Unternehmensplanung* (4. Aufl.). Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Winter, M. (2011). *Wettbewerb um Studierende.* Beitrag gehalten auf der Jahrestagung der Gesellschaft für Hochschulforschung in Wittenberg, 12.-13. Mai 2011, Panel 2: Hochschulen im Wettbewerb, 12. Mai 2011, Wittenberg. Abgerufen von <http://www.hof.uni-halle.de/dateien/gfhf2011/Winter.pdf>, zuletzt geprüft am 21.05.2014.

- Witte, J., & Stuckrad, T. von. (2007). *Kapazitätsplanung in gestuften Studienstrukturen: Vergleichende Analyse des Vorgehens in 16 Bundesländern*. Gütersloh: CHE.
- Xylander, J. K. (2003). *Kapazitätsmanagement bei Reiseveranstaltern: Entscheidungsmodelle zur Kontingentierung im Yield Management*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Yang, Q., & Zhu, J. (2001). A Case-Addition Policy for Case-Base Maintenance. *Computational Intelligence*, 17(2), 250–262.
- Yokum, J. T., & Armstrong, J. S. (1995). Beyond Accuracy: Comparison of Criteria Used to Select Forecasting Methods. *International Journal of Forecasting*, 11(4), 591–597.
- Zäpfel, G. (1982). *Produktionswirtschaft: operatives Produktions-Management*. Berlin [u.a.]: De Gruyter.
- Zäpfel, G. (1989a). *Strategisches Produktions-Management*. Berlin [u.a.]: De Gruyter.
- Zäpfel, G. (1989b). *Taktisches Produktions-Management*. Berlin [u.a.]: De Gruyter.
- Zhang, G., Eddy Patuwo, B., & Y. Hu, M. (1998). Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *International Journal of Forecasting*, 14(1), 35–62.
- Zimmermann, K. (2010). Kapazitätsrechtliche Grundlagen und alternative Regelungsmodelle im hochschulpolitischen Diskurs. *Die Hochschule. Journal für Wissenschaft und Bildung*, 2010(2), 9–20.