

Lernsoftware für Operations-Research-Methoden –

Konzeption von Software für die spezifischen
Anforderungen des Selbstlernens von Methoden
des Operations Research

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der
Wirtschaftswissenschaften (Dr. oec.)

Fakultät Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

Universität Hohenheim

INSTITUT FÜR FINANCIAL MANAGEMENT

vorgelegt von

Günter Winterholer

aus *Hechingen*

2021

Datum der mündlichen Prüfung:	24.03.2022
Dekan:	Prof. Dr. Jörg Schiller
Erstgutachter:	Prof. Dr. Andreas Kleine, FernUniversität in Hagen
Zweitgutachterin:	Prof. Dr. Katja Schimmelpfeng, Universität Hohenheim
Vorsitzender der Prüfungskommission:	Prof. Dr. Ernst Troßmann, Universität Hohenheim

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Notwendigkeit der Entwicklung spezifischer Lernsoftware gerade für OR-Methoden	1
2 Die Spezifika von OR-Methoden als Lerngegenstand	7
2.1 Operations Research – ein Teilgebiet der Betriebswirtschaftslehre mit besonderen Merkmalen	7
2.1.1 Zur Entwicklung des Operations Research	7
2.1.2 Grundansatz des Operations Research	11
2.1.3 Modellierungs- und Lösungsmethoden als Kernelemente des Operations Research	13
2.2 Überblick zu den Methoden des Operations Research	14
2.2.1 Einteilung der Methoden des Operations Research	14
2.2.2 Methoden der linearen Optimierung	16
2.2.2.1 Das Grundmodell der linearen Optimierung	16
2.2.2.2 Simplex- und Innere-Punkt-Verfahren zur Lösung linearer Optimierungsprobleme	19
2.2.3 Methoden der nichtlinearen Optimierung	22
2.2.4 Entscheidungsbaummethoden	24
2.2.5 Graphentheoretische Methoden	27
2.2.6 Weitere OR-Methoden	30
2.3 Lernanforderungen der Methoden des Operations Research	36
2.3.1 Grundsätzliche Lernvoraussetzungen	36

2.3.2	Gemeinsame Lernanforderungen der einzelnen Methodenklassen des Operations Research	39
2.3.3	Typische Lernanforderungen ausgewählter OR-Methoden im Vergleich	45
2.4	Exemplarische Analyse der Lernanforderungen für die IP-Methoden der linearen Optimierung	50
2.4.1	Die grundlegende Innere-Punkt-Methode von Dikin	50
2.4.2	Betrachtung eines elementaren Beispiels	59
2.4.3	Resultierende Lernanforderungen für die IP-Methoden	67
2.5	Idee des Einsatzes von Lernsoftware für das Erlernen von OR-Methoden	70
2.6	Gründe für die Auswahl der IP-Methoden als Demonstrationsbeispiel	74
3	Pädagogisch-didaktische Grundlegung für die Konzeption von Lernsoftware	77
3.1	Theoretische Grundlagen des Lernens	77
3.1.1	Die behavioristische Lerntheorie	78
3.1.2	Die kognitivistische Lerntheorie	79
3.1.3	Die konstruktivistische Lerntheorie	81
3.2	Grundsätzliche didaktische Modelle	84
3.2.1	Die bildungstheoretische Didaktik	86
3.2.2	Die lerntheoretische Didaktik	89
3.2.3	Die konstruktivistische Didaktik	91
3.3	Übertragung der allgemeinen pädagogisch-didaktischen Grundlagen auf mediale Lernformen	94
3.4	Formen des E-Learnings als multimediale Lernsysteme	97
3.4.1	Lernsoftware als Kernelement des E-Learning	98
3.4.2	Blended Learning und weitere Formen des E-Learning	105
3.5	Eignung von E-Learning für das Erlernen von OR-Methoden	107
3.5.1	Allgemeine Kriterien für die Eignung von E-Learning	107
3.5.2	Analyse der Eignungskriterien für den Anwendungsfall von OR-Methoden	117
3.6	Die zentrale Bedeutung von Lernsoftware in der Konzeption von E-Learning-Anwendungen	121

4	Entwicklung einer Lernsoftware-Didaktik für die IP-Methoden des OR	123
4.1	Allgemeine Grundlagen zum Entwurf einer Lernsoftware	123
4.1.1	Idee und Urmodell des Instructional Design	123
4.1.2	Modelle der zweiten Generation und situationistische Modelle	127
4.1.2.1	Anchored Instruction	131
4.1.2.2	Cognitive Apprenticeship	133
4.1.2.3	Weitere praktische Theorien	136
4.1.3	Folgerungen für die konkrete Software-Gestaltung im vorliegenden Fall	139
4.2	Anforderungen an die Lernsoftware aus dem Anwendungsfall der IP-Methoden	141
4.3	Entwicklung der didaktischen Grundstruktur einer OR-Lernsoftware nach dem 3-2-1-Modell von Kerres	143
4.3.1	Das 3-2-1-Modell didaktischer Elemente von Kerres und dessen Eignung für die Methodenlehre	143
4.3.2	3er-Element: Darstellung der Basiselemente	145
4.3.2.1	Lerninformationen	145
4.3.2.2	Lernaufgabe	147
4.3.2.3	Lernmaterial	149
4.3.3	2er-Element: Unterstützung und Hilfestellungen	149
4.3.3.1	Allgemeine Formen der Unterstützung	149
4.3.3.2	Kontextsensitive und adaptive Möglichkeiten der Unterstützung	151
4.3.4	1er-Element: Konstruktion einer Umgebung für Lernkontrolle und -transfer	152
4.3.4.1	Aufbau und Ablauf einer Testsequenz	152
4.3.4.2	Dashboard – Element für Kennzahlen des Lernfortschritts	156
5	Zur Detailausgestaltung der Lernsoftware	160
5.1	Interaktivität und Ablaufsteuerung in der Lernsoftware	160
5.1.1	Nutzen verschiedener Interaktionsformen für Lernfortschritt und Lernziel	160

5.1.2	Möglichkeiten der Individualisierung und Gestaltung individueller Lernwege	165
5.2	Motivation und Möglichkeiten der Einflussnahme durch die Lernsoftware	168
5.2.1	Motivation und Lernen	168
5.2.2	Das ARCS-Modell von Keller	171
5.3	Die Beschreibung der Ausgestaltung der Lernsoftware im Detail	176
5.3.1	Grundlegende Aspekte zur Gestaltung der Lernsoftware .	176
5.3.2	Gestaltungselemente einer hypermedialen Lernumgebung zur Vermittlung der Theorie des IP-Verfahrens	179
5.3.3	Gestaltungselemente einer interaktiven, beispielorientierten Lernumgebung für das IP-Verfahren	188
6	Chancen und Herausforderungen von Lernsoftware in der Methodenlehre	203
6.1	Zur Evaluierung multimedialer Lernsoftware	203
6.1.1	Aufgaben, Ziele und Formen der Evaluation	203
6.1.2	Klassische Verfahren der Evaluation	206
6.1.2.1	Kriterienbasierte Instrumente	206
6.1.2.2	Rezensionen	214
6.1.2.3	Überprüfung des Lernerfolgs	214
6.1.3	Das dreidimensionale heuristische Modell von Baumgartner und Payr	215
6.2	Grenzen digitaler Lerntechnologien	220
6.2.1	Hürden der technischen Voraussetzungen und erforderlichen Kenntnisse	220
6.2.2	Falscher Einsatz und Fehleinschätzung technischer Möglichkeiten	223
6.2.3	Feedback, soziales Umfeld und der Einfluss von Motivation und Selbstdisziplin	224
6.3	Softwaredidaktische Potentiale	228
6.3.1	Kostenaspekte, Qualitätskontinuität, zeitliche und räumliche Unabhängigkeit	228
6.3.2	Interaktivität und individuelle Lernwege	232

7 Möglichkeiten künftiger Entwicklungen spezifischer Lernsoftware für OR-Methoden	237
Literaturverzeichnis	242

Abbildungsverzeichnis

1.1	Aufbau der Arbeit	3
2.1	Problemlösungsprozess	12
2.2	Simulationsprozess	33
2.3	Vorgehensweise Innerer-Punkt-Verfahren	51
2.4	unbeschränkte Zielfunktion	57
2.5	Zulässiger Bereich, Zielfunktion und Startpunkt des Beispiels . .	60
2.6	Iteration 1: Bestimmung der Richtung	64
2.7	Iteration 1: Bestimmung der Schrittweite	64
2.8	Iteration 1 in den ursprünglichen Koordinaten	65
2.9	Zulässiger Bereich und Folgeglieder des betrachteten Beispiels .	66
3.1	Reiz-Reaktions-Prozess	78
3.2	Lernmodell des Kognitivismus	80
3.3	Modell der Wahrnehmung des Konstruktivismus	82
3.4	Didaktische Modelle seit 1950	86
3.5	(vorläufiges) Perspektivenschema zur Unterrichtsplanung	88
3.6	Strukturanalyse der lerntheoretischen Didaktik	90
3.7	Die Balance zwischen Konstruktion und Instruktion	93
3.8	Medien als Thema der Pädagogik	95
3.9	Mediendidaktische Analyse- und Entscheidungsfelder	108
3.10	Kognitive Taxonomie von Lehrzielen	111
3.11	Überarbeitete Taxonomie	113
4.1	Ansätze situierten Lernens	129
4.2	Lerninformationen	145
4.3	detaillierte Betrachtung des Lehrziels	146
4.4	ausführliche Darstellung der erforderlichen Vorkenntnisse	147

4.5	Lernaufgabe – vorgegebene Problemstellung	148
4.6	Beispielausschnitt – Glossar	150
4.7	Beispiel 1: Multiple-Choice-Aufgabe	154
4.8	Beispiel 2: Multiple-Choice-Aufgabe	154
4.9	Beispiel: Short-Answer-Aufgabe	155
4.10	Beispiel: Numerische Aufgabe	155
4.11	Dashboard	159
5.1	Fließende Grenze zwischen den Interaktionskategorien	162
5.2	Beziehung zwischen Motivation, Emotion und Kognition	168
5.3	Bestimmungsfelder der Motivation	170
5.4	Bestimmungsfelder der Motivation bei hoher intrinsischer Mo- tivation	171
5.5	Standardlayout für Lernsoftware	178
5.6	Systematische Aufteilung des Lern- und Arbeitsbereichs im Theo- rieteil	180
5.7	Start des hypermedialen Theorieteils	180
5.8	Grundlegende Idee Innerer-Punkt-Verfahren	183
5.9	Zeitliche Entwicklung Innerer-Punkt-Verfahren	184
5.10	Voraussetzungen des Verfahrens von Dikin	184
5.11	Idee des Verfahrens von Dikin	185
5.12	Herleitung des Verfahrens von Dikin	185
5.13	Notwendige Skalierung im Verfahren von Dikin	186
5.14	Beschreibung der Methode von Dikin	186
5.15	Darstellung der Methode von Dikin als Pseudocode	187
5.16	Systematische Aufteilung des Lern- und Arbeitsbereichs im in- teraktiven, beispielorientierten Lernteil	189
5.17	Verfahrensstart	191
5.18	Eingabe einer eigenen Beispielaufgabe	191
5.19	Informationen zu den einzugebenden Größen	192
5.20	Hinweis zu falsch gewähltem Parameter	193
5.21	Iteration 1, Schritt 1	194
5.22	Iteration 1, Schritt 2	195
5.23	Iteration 1, Schritt 3	196
5.24	Iteration 1, Schritt 4	196
5.25	Iteration 1, Schritt 5	198

5.26	Iteration 1, Schritt 6	199
5.27	Iteration 2, Schritt 1	200
5.28	Iteration 2, Schritt 6	200
5.29	optimale Lösung	201
6.1	Evaluationsformen	205
6.2	Heuristisches Modell zur Softwarebewertung	216

Tabellenverzeichnis

2.1	Umfeldbezogene Lernvoraussetzungen	37
2.2	Individuelle Lernvoraussetzungen	38
2.3	Lösungswerte der ersten 17 Iterationen	66
3.1	Überblick Lerntheorien	84
3.2	Lerntheorien und Softwaretypologie	105
3.3	Typische Bestandteile von Lernangeboten in hybriden Lernar- rangements	106
4.1	Instruktionale Ereignisse (nach Gagné)	125
4.2	Das 3-2-1-Modell didaktischer Elemente nach Kerres	144

Abkürzungsverzeichnis

4C/ID	Four Component Instructional Design
AKOR	Arbeitskreis Operational Research
ARCS	Attention-Relevance-Confidence-Satisfaction
ADDIE	Analysis-Design-Development-Implementation-Evaluation
BIP	Binary Integer Programming
CAI	Computer-Aided-Instruction
CBT	Computer-Based-Training
CPM	Critical Path Method
CTGV	Cognition and Technology Group at Vanderbilt
DeGEval	Gesellschaft für Evaluation
GMÖOR	Gesellschaft für Mathematik, Ökonomie und Operations Research
DGOR	Deutsche Gesellschaft für Operations Research
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unternehmensforschung
DRG	Diagnosis Related Group
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EOQ	Economic Order Quantity
EPL	Erweiterte Prüfliste für Lernsysteme
GERT	Graphical Evaluation and Review Technique
GOR	Gesellschaft für Operations Research
GPL	Große Prüfliste für Lernsoftware
ID	Instructional Design
ID2	Instruktionsdesign der zweiten Generation
IP	Integer Programming
IP-	Innere-Punkt-
IPV	Innere-Punkt-Verfahren
IT	Informationstechnologie
ITS	Intelligente Tutorielle Systeme
KI	Künstliche Intelligenz
LAD	Learning Analytics Dashboards

LP	Lineares Programm
MEDA	Methodologie d'Evaluation des Didacticiels pour Adultes
MINT	Mathematik-Informatik-Naturwissenschaften-Technik
MIP	Mixed Integer Programming
MILP	Mixed Integer Linear Programming
MPM	Metra Potential Method
MS	Management Science
NPT	Netzplantechnik
NLP	Nichtlineare Programmierung
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OR	Operations Research
PC	Personal Computer
PERT	Program Evaluation and Review Technique
SODIS	Software Dokumentations- und Informationssystem
WBT	Web-Based-Training

Kapitel 1

Notwendigkeit der Entwicklung spezifischer Lernsoftware gerade für OR-Methoden

Digitale Lernarrangements nehmen nicht nur in Ergänzung zu traditionellen Unterrichtsformen, sondern auch als Ersatz für klassische Formen des Lehrens und Lernens eine zunehmend wichtige Rolle ein. Technologische und didaktische Entwicklungen und Fortschritte, soziokulturelle Veränderungen, aber auch politische Forderungen tragen dazu bei. Aktuell führt die Corona-Pandemie mit ihren weitreichenden Folgen für den Alltag der Menschen zu einer Beschleunigung der Digitalisierung in vielen Bereichen. Dies gilt insbesondere im Bereich der Lehre. So können Vorlesungen, Übungen und Seminare an Hochschulen bis hin zu klassischem Schulunterricht nicht mehr in Präsenz vor Ort abgehalten werden. Ein Ausweichen auf digitale Formate findet statt. Hierfür stehen verschiedene Ausprägungen digitaler Lernformate und Einsatzmöglichkeiten zur Verfügung, die auch immer zahlreicher werden.

Die Entwicklung solcher Formate orientiert sich allerdings häufig überwiegend an technologischen Aspekten. Lerntheoretische Erkenntnisse und auf diesen aufbauend dem Lerngegenstand angepasste didaktische Ansätze werden vernachlässigt. Jedoch soll sich die Entwicklung digitaler Lernarrangements nicht vorrangig an dem orientieren, was technisch State of the Art ist, sondern an den tatsächlichen und auch potentiellen Bedürfnissen der Lehrenden und insbesondere der Lernenden.

Der Einsatz quantitativer Methoden zur Lösung komplexer wirtschaftswissenschaftlicher Problemstellungen ist unter anderem ein Kernbereich des Fachgebiets des Operations Research (OR), das sich durch eine historisch gewachsene Interdisziplinarität auszeichnet und auch deswegen diverse Ansätze für praktische Anwendung, Lehre und Forschung bietet.

Das Lehren und Lernen von Algorithmen aus diesem Bereich bringt diverse Lehr-/Lernanforderungen und Besonderheiten mit sich, die es bei der erfolgreichen Gestaltung von Lernprozessen zu berücksichtigen gilt. Diese sind auch bei der Entwicklung digitaler Lernarrangements für Methoden des Operations Research nicht zu vernachlässigen, sondern möglicherweise noch gezielter und bewusster zu betrachten und zu beachten.

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Konzeption für den Aufbau einer Lernsoftware für die Methodenlehre des Operations Research zu entwerfen. Dies erfolgt unter Berücksichtigung spezifischer Voraussetzungen und Anforderungen der Methodenlehre auf Basis lerntheoretischer Erkenntnisse und geeigneter didaktischer Modelle. Als Fundament dienen ausgewählte Instruktionsdesign-Modelle. Der Aufbau und die Vorgehensweise der Lernsoftware werden exemplarisch für eine ausgewählte Innere-Punkt-Methode konstruiert und erläutert. Dazu ist die Arbeit in 7 Kapitel gegliedert. Der Aufbau der Arbeit ist in Abbildung 1.1 dargestellt.

Im Anschluss an das einleitende erste Kapitel wird im zweiten Kapitel zunächst in das Fachgebiet des Operations Research als Teilgebiet der Betriebswirtschaftslehre eingeführt. Angefangen mit der Betrachtung der zeitlichen Entwicklung und gefolgt vom Grundansatz des Operations Research stehen dann die Modellierungs- und Lösungsmethoden im Mittelpunkt. Dazu wird ein Überblick nach gängiger Klassifikation über Methoden des Operations Research gegeben, mit besonderem Fokus auf Methoden der sogenannten linearen Optimierung.

Um die Spezifika von OR-Methoden als Lerngegenstand herausarbeiten zu können, werden gemeinsame Lernanforderungen einzelner Methodenklassen betrachtet. Zudem erfolgt ein Vergleich typischer Lernanforderungen ausgewähl-

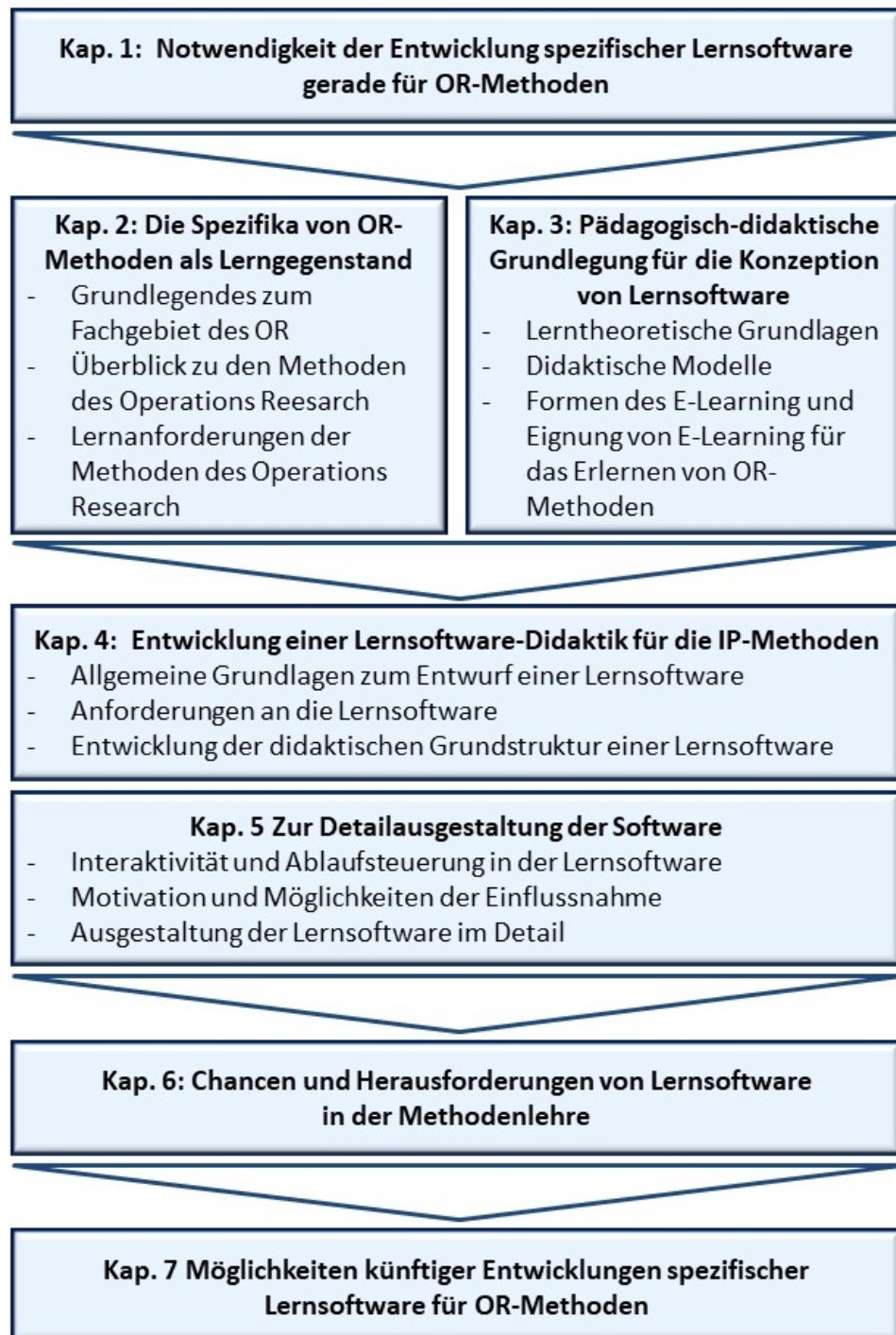


Abbildung 1.1: Aufbau der Arbeit

ter OR-Methoden. Zur detaillierteren Betrachtung ist das Verfahren von Dikin (eine grundlegende Innere-Punkt-Methode (siehe KOOP und MOOCK (2008), S. 99 ff.) aus dem Bereich der Methoden der bereits angesprochenen linearen

Optimierung) zur exemplarischen Analyse ausgewählt worden. Dessen Vorgehensweise wird zunächst theoretisch und dann anhand eines exemplarischen Beispiels betrachtet, bevor auf die daraus resultierenden Lernanforderungen eingegangen wird. Nach der Vorstellung der Idee des Einsatzes von Lernsoftware für das Erlernen von Methoden des Operations Research schließt Kapitel 2 mit einer Darlegung von Gründen für die Auswahl der IP-Methoden als Demonstrationsbeispiel.

In Kapitel 3 wird für die pädagogisch-didaktische Grundlegung der Konzeption von Lernsoftware zunächst der Begriff des Lernens, unter dem allgemein der Auf- und Ausbau von Kenntnissen und Wissen sowie von Fertigkeiten und Fähigkeiten verstanden werden kann, veranschaulicht. Daran anknüpfend wird ein Überblick über die wichtigsten Lerntheorien und grundsätzliche didaktische Modelle gegeben. Gesondert wird zudem der Bereich der Mediendidaktik mit der Übertragung allgemeiner pädagogisch-didaktischer Grundlagen auf mediale Lernformen, aber auch neuer Ansätze in solchen betrachtet.

Da Lernsoftware als eine Variante des E-Learning zu sehen ist und unter E-Learning hier ein Sammelbegriff für alle Formen der Verwendung digitaler Medien für Lehr- und Lernzwecke verstanden wird (vgl. KERRES (2018), S. 6), erfolgt zunächst eine Einführung in diesen Bereich. Danach rückt der Begriff der Lernsoftware in den Vordergrund, um auf diverse idealtypische Ausprägungen von Lernsoftware mit ihren charakteristischen Merkmalen und besonderen Eigenheiten einzugehen. In diesem Zusammenhang wird die Stellung der Lernsoftware als Kernelement des E-Learning herausgearbeitet, bevor kurz auf weitere Ausprägungen des E-Learning, wie etwa das Blended Learning eingegangen wird. Darauf aufbauend steht dann die Eignung von E-Learning für das Erlernen von Methoden des Operations Research im Fokus. Zunächst werden allgemeine Kriterien für die Eignung von E-Learning gesucht und dargestellt. Diese sind dann im Hinblick auf den Anwendungsfall der Methoden des Operations Research zu analysieren. Zum Abschluss des dritten Kapitels wird speziell auch die besondere Bedeutung von Lernsoftware in der Konzeption von E-Learning-Anwendungen herausgearbeitet und beschrieben.

Zentraler Kern der Arbeit ist die Entwicklung einer Lernsoftware-Didaktik für die als Demonstrationsbeispiel ausgewählte und angesprochene Innere-Punkt-

Methode zur Lösung linearer Optimierungsprobleme. Hierzu werden in Kapitel 4 zunächst einführend allgemeine Grundlagen zum Entwurf einer Lernsoftware betrachtet. Diesbezüglich wird die Idee und das Urmodell des Instructional Design von Robert Gagné (siehe GAGNÉ et al. (1992)) beschrieben. Dem folgend werden ausgewählte Modelle der zweiten Generation und situationistische Modelle untersucht und aufgeführt, um daraus anschließend auch Folgerungen für die konkrete Software-Gestaltung im vorliegenden Fall ableiten zu können.

Zudem werden Anforderungen an die Lernsoftware aus dem Anwendungsfall der IP-Methoden erörtert. Diese werden dann zusammen mit den Erkenntnissen aus den betrachteten und aufgeführten Instructional-Design-Modellen in die Entwicklung der didaktischen Grundstruktur einer Lernsoftware für den angeführten Algorithmus einfließen. Bei der Entwicklung der angesprochenen Grundstruktur wird auf das 3-2-1-Modell didaktischer Elemente von Michael Kerres (vgl. KERRES (2002), S. 7 ff.), eine Weiterentwicklung des Urmodells des Instructional Designs von Gagné, zurückgegriffen. Dazu findet eine Prüfung der Eignung des besagten Modells von Kerres für die Methodenlehre des Operations Research statt, bevor die einzelnen Elemente allgemein beschrieben und anhand der Inneren-Punkt-Methode von Ilya I. Dikin veranschaulicht und vorgestellt werden.

Nachdem die didaktische Grundstruktur festgelegt ist, wird in Kapitel 5 die Ausgestaltung der Lernsoftware im Detail erarbeitet und beschrieben. Dazu findet eine Aufteilung des Lernmaterials in zwei Bereiche statt. Die Theorie des Inneren-Punkt-Verfahrens wird in einer hypermedialen Lernumgebung präsentiert und vermittelt. Innerhalb einer interaktiven, beispielorientierten Lernumgebung für das betrachtete Verfahren kann dieses nachvollzogen und können pragmatische Fertigkeiten der Algorithmenlehre erworben werden. Dabei wird besonderes Augenmerk auf die Interaktivität und Ablaufsteuerung in der Lernsoftware gerichtet. Ferner werden Nutzen verschiedener Interaktionsformen für den Lernfortschritt und das Lernziel sowie Möglichkeiten zur Gestaltung individueller Lernwege betrachtet und berücksichtigt. Zudem werden die Möglichkeiten der Einflussnahme einer Lernsoftware auf die Motivation der Lernenden erörtert und entsprechende Erkenntnisse in die Detailausgestaltung miteinbezogen.

In Kapitel 6 werden die Chancen und Herausforderungen von Lernsoftware – insbesondere in der im Mittelpunkt dieser Arbeit stehenden Methodenlehre des Operations Research – herausgearbeitet und betrachtet. Zunächst werden Aufgaben, Ziele und Formen der Evaluation aufgezeigt sowie klassische Verfahren der Evaluation beschrieben. Danach gilt es vornehmlich Qualitätskriterien für multimediale Lern- und Informationssysteme in der Methodenlehre des Operations Research herauszufinden und aufzuführen. Gerade auch mit Blick auf die Schwächen der betrachteten klassischen Verfahren wird dann das dreidimensionale heuristische Modell von Baumgartner und Payr (siehe BAUMGARTNER und PAYR (1999)) mit Einsatzzweck der Evaluation von Lernsoftware im Bereich der Methodenlehre des Operations Research vorgestellt. Daran schließt sich die Identifikation, Benennung und Beschreibung der Grenzen digitaler Lerntechnologien mit Fokus auf deren Einsatz in der Methodenlehre einerseits und die sich in dieser Hinsicht ergebenden softwaredidaktischen Potentiale andererseits an.

Technologische und didaktische Entwicklungen, gesellschaftliche Veränderungen, aber auch politische Forderungen haben, wie eingangs erwähnt, unter anderem großen Einfluss auf Formen des Lernens und den Lernprozess an sich. Schlusskapitel 7 gibt einen Ausblick künftiger Entwicklungen spezifischer Lernsoftware insbesondere für die Methoden des Operations Research.

Kapitel 2

Die Spezifika von OR-Methoden als Lerngegenstand

2.1 Operations Research – ein Teilgebiet der Betriebswirtschaftslehre mit besonderen Merkmalen

2.1.1 Zur Entwicklung des Operations Research

Das Auftreten komplexer Problemstellungen führt zu einem Bedarf an Methoden, die der systematischen Lösung dieser Probleme dienen. Dies gilt insbesondere auch für den Bereich des wirtschaftlichen Handelns. Aus den Versuchen, solche Probleme systematisch zu lösen, hat sich das Fachgebiet des Operations Research entwickelt (vgl. ELLINGER et al. (2001), S. 1).

Erste Arbeiten, die dem Bereich des Operations Research zugeordnet werden können, stammen beispielsweise von Agner Krarup Erlang (ERLANG (1909)), der basierend auf Untersuchungen zu Stauungen im Kopenhagener Telefonnetz ein Warteschlangenmodell entwickelte, oder von Ford Whitman Harris (HARRIS (1913)) und Kurt Andler (ANDLER (1929)), die sich mit der Optimierung der Bestellmengen und Losgrößen beschäftigten und unabhängig voneinander die Economic Order Quantity (EOQ)-Formel, im deutschsprachigen Raum vorwiegend als Andler-Formel bezeichnet, erarbeiteten (vgl. hierzu etwa ELLINGER et al. (2001), S. 1 oder GAL (1987), S. 4). Bereits in den 1930er-Jahren legte Leonid Witaljewitsch Kantorowitsch mit seinen Untersuchungen

zur Planung der Produktion den Grundstein der linearen Optimierung (vgl. ELLINGER et al. (2001), S. 15), um damit nur einige Arbeiten aus den Anfängen des Operations Research vor der Zeit des 2. Weltkriegs zu nennen. Kurz vor und während der Zeit des 2. Weltkriegs wurden Methoden des Operations Research dann in größerem Umfang erstmals in Großbritannien und den USA entwickelt und angewendet. Auch der Ursprung des Begriffs Operations Research entstammt dieser Zeit.

So wurde 1937 eine Arbeitsgruppe, bestehend aus diversen Wissenschaftlern, in der englischen Armee unter der Bezeichnung *Operational Research* mit der Forschung bezüglich der operationalen Nutzung des Radars betraut (vgl. TOMLINSON (1971), S. XI). Der Begriff *Operational Research* oder *Operations Research*, als von Beginn an übliche Bezeichnung in den USA, ist dabei auf die Tätigkeit dieser Arbeitsgruppen, die Analyse militärischer Operationen und Ausarbeitung entsprechender Empfehlungen – „Operations Analysis or Evaluation“ – zurückzuführen (vgl. KULHAVY (1963), S. 23). In der Folge wurden innerhalb des britischen Militärs vermehrt sogenannte *Operational Research-Units* mit dem Schwerpunkt der Anwendung mathematischer Methoden in überwiegend militärstrategischen Problemstellungen gebildet. So wurde beispielsweise in der Marine die Zusammenstellung von Schiffskonvois betrachtet und dazu die Größe von Geleitzügen und auch die Verteilung der vorhandenen Begleitschiffe zur U-Boot-Abwehr auf ihre Optimalität hin untersucht (vgl. etwa GAL (1987), S. 5 oder ELLINGER et al. (2001), S. 1). In der Teilstreitkraft des Heeres wurde die Arbeitsteilung beim Minenlegen betrachtet und in der Luftwaffe fanden Untersuchungen bezüglich der Treffgenauigkeit von Bombern und der Größe von Bombentepichen statt (vgl. ELLINGER et al. (2001), S. 1), um damit nur einige Problembereiche zu nennen.

Sehr aufschlussreich für das Verständnis der Entwicklung und des Wesens des Operations Research ist die Betrachtung der Zusammensetzung der angesprochenen Operations Research-Arbeitsgruppen. Diese war von Anfang an durch eine ausgeprägte Interdisziplinität gekennzeichnet. Die Gruppen setzten sich aus Naturwissenschaftlern, Mathematikern und Statistikern zusammen (vgl. TREFETHEN (1954), S. 8). Konkreter beschreibt Trefethen die Mitglieder der „wohl ältesten OR-Gruppe des sogenannten ‚Blackett’s circus‘“ (ZIMMERMANN (2008), S. 7), die demnach aus drei Physiologen, zwei mathematischen Phy-

sikern, einem allgemeinen Physiker und zwei Mathematikern bestand (vgl. TREFETHEN (1954), S. 6). Kulhavy führt die Mitglieder eines weiteren Teams mit einem Experimentalphysiker, zwei theoretischen Physikern, drei Physiologen, einem Geodät, einem Astrophysiker, zwei Mathematikern und einem Verbindungsoffizier auf (vgl. KULHAVY (1963), S. 24). Die Mitglieder der OR-Gruppen trugen mit ihrer jeweiligen Sicht auf betrachtete Probleme und mit entsprechenden Methoden ihrer jeweiligen Disziplin zur Ermittlung von Lösungen und Ansätzen bei, da noch kaum „OR-eigene“ Methoden existierten (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 7).

Nach dem Ende der Kriegszeit weckten die Ideen und Ansätze des Operations Research dann Interesse bei Industrieunternehmen, die OR-Abteilungen einrichteten, und Universitäten, die Lehrstühle für OR schufen, so dass der Hauptfokus der Anwendungen rasch von militärischen auf wirtschaftliche Problemstellungen überging (vgl. ELLINGER et al. (2001), S. 1). Entscheidenden Einfluss darauf hatten die Ausarbeitung des Simplex-Algorithmus zur Lösung linearer Programme durch George B. Dantzig im Jahr 1947 (siehe DANTZIG (1949)) und Ansätze und Hilfsmittel der sich nach und nach entwickelnden elektronischen Datenverarbeitung (EDV) und Informatik.

Als erste Anwendungen des Simplex-Verfahrens können beispielsweise das Diät-Problem von George J. Stigler, der einen Speiseplan für amerikanische Soldaten unter Berücksichtigung von Mindest- und Höchstmengen an Vitaminen und Nährstoffen mit der Zielsetzung der Kostenminimierung entwerfen wollte (siehe STIGLER (1945)) oder Untersuchungen zum optimalen Verschnitt von Rohöl in Benzin unterschiedlicher Qualitäten (siehe CHARNES et al. (1955)) genannt werden. Die Entwicklung der Theorie der nichtlinearen Optimierung ist entscheidend mit William Karush (KARUSH (1939)), Harold W. Kuhn sowie Albert W. Tucker verbunden (KUHN und TUCKER (1951)), und Richard Bellman stellte in den 1950er-Jahren die Weichen für die dynamische Optimierung (BELLMAN (1957)), um damit nur einige anfängliche Meilensteine des Operations Research aufgeführt zu haben. Umfassende Betrachtungen und Einblicke in die geschichtliche Entwicklung des Operations Research sind beispielsweise zu finden in BRUSBERG (1965), MÜLLER-MERBACH (1973), TOMLINSON (1971), TREFETHEN (1954) oder ZIMMERMANN (1982).

Die zunehmende Bedeutung des Operations Research führte zur Bildung wissenschaftlicher Gesellschaften auf nationaler und internationaler Ebene (vgl. GAL (1987), S. 6). Mit Blick auf Deutschland sind dabei zunächst die Gründungen des Arbeitskreises Operational Research (AKOR) 1956, der größtenteils aus Praktikern bestand, und der Deutschen Gesellschaft für Unternehmensforschung (DGU) 1961, die sich hauptsächlich aus Mitgliedern des Hochschulbereichs zusammensetzte, zu nennen (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 10). Diese beiden Gesellschaften schlossen sich dann 1972 zur Deutschen Gesellschaft für Operations Research (DGOR) zusammen, ehe es dann 1979 zur Abspaltung einer Teilgruppe mit Gründung der Gesellschaft für Mathematik, Ökonomie und Operations Research (GMÖOR) kam (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 10). Die DGOR vertrat dabei die eher praxis- und managementorientierte, die GMÖOR hingegen die mehr theoretische und mathematisch orientierte Strömung des Operations Research (vgl. GOR E.V. (2020)). Zum 1.1.1998, so die Information der Gesellschaft für Operations Research (GOR), erfolgte dann der Zusammenschluss der DGOR und GMÖOR zur GOR. „Ihre zentrale Aufgabe [...] besteht darin, die Verbreitung und den Einsatz von Operations Research in Wissenschaft und Praxis zu fördern“ (GOR E.V. (2020)).

Der Versuch den Begriff des Operations Research zu definieren wurde schon häufig unternommen, eine allgemein anerkannte Definition ist dabei jedoch noch nicht hervorgegangen (vgl. KOOP und MOOCK (2008), S. 1). Unter Berücksichtigung der beiden Strömungen des Operations Research lässt sich OR aus Sicht des Praktikers in der angewandten Perspektive beispielsweise nach Müller-Merbach betrachten als „die Anwendung mathematischer Methoden zur Vorbereitung optimaler Entscheidungen“ (MÜLLER-MERBACH (1973), S. 1) oder ähnlich nach Gal als „die Anwendung quantitativer Verfahren zur Lösung wirtschaftswissenschaftlicher Probleme“ (GAL (1987), S. 4). Insbesondere in Nordamerika wird für „praktisches Operations Research“ der Begriff *Management Science* (MS) verwendet (vgl. SUHL und MELLOULI (2013), S. 6).

Aus Sicht des Mathematikers in theoretischer Perspektive findet sich OR als „ein Teilgebiet der Angewandten Mathematik, das sich, grob gesprochen, mit der Beschreibung von Prozessen, mit deren mathematischer Modellierung und schließlich hauptsächlich mit Fragen der Optimierung in verschiedenster Weise beschäftigt“ (WESSLER (2010), Klappentext).

Die GOR versucht mit ihrer Definition des OR-Begriffs beide Strömungen zu vereinen, indem sie folgendermaßen formuliert: „Unter Operations Research wird allgemein die Entwicklung und der Einsatz quantitativer Modelle und Methoden zur Entscheidungsunterstützung verstanden. Operations Research ist geprägt durch die Zusammenarbeit von Mathematik, Wirtschaftswissenschaften und Informatik“ (GOR E.V. (2006), S. 4).

Generell wird hier der Meinung von Zimmermann beigepllichtet, „dass es zwar zwei Teile des Gebietes OR geben mag, dass sie jedoch beide wichtig und notwendig für das OR sind und sich aus der Geschichte des OR erklären lassen“ (ZIMMERMANN (2008), S. 1). Auch nach Suhl und Mellouli sind „Methodenevolution und Anwendung untrennbar miteinander verbunden“ (SUHL und MELLOULI (2013), S. 6).

2.1.2 Grundansatz des Operations Research

Operations Research dient mit dem Einsatz mathematischer Modelle und Methoden der Entscheidungsvorbereitung und -unterstützung (vgl. u. a. WERNERS (2013), S. 1 oder ELLINGER et al. (2001), S. 2) in betriebswirtschaftlichen Problemstellungen. Die Vorgehensweise des Operations Research zeichnet sich dadurch aus, dass für komplexe reale Probleme möglichst optimale Handlungsvorschläge ermittelt werden sollen (vgl. WERNERS (2013), S. 1). Die strukturierte Vorgehensweise zur Lösung eines Problems ist in Abbildung 2.1 dargestellt.

Die praktische OR-Arbeit macht eine große Anzahl an Aktivitäten, die sich mitunter gegenseitig beeinflussen, erforderlich, die in ihrer Gesamtheit häufig als „OR-Prozess“ bezeichnet werden (vgl. GAL (1987), S. 23). Angefangen von der Abbildung des erkannten Problems in einem Modell über den Einsatz einer Methode zur Ermittlung einer Lösung für das Modell bis zu deren Interpretation und Übertragung als Entscheidungsgrundlage sind etliche Schritte erforderlich. Gal stellt den bisher nur kurz beschriebenen Prozess in mehreren Komponenten dar (vgl. GAL (1987), S. 23 ff.), Kern unterteilt die Vorgehensweise in 7 Schritte (vgl. KERN (1987), S. 18). Ohne zunächst zu sehr ins Detail zu gehen, soll dieser Prozess nun etwas ausführlicher beschrieben werden (vgl. hierzu auch WERNERS (2013), S. 2 f. oder SUHL und MELLOULI (2013), S. 6).

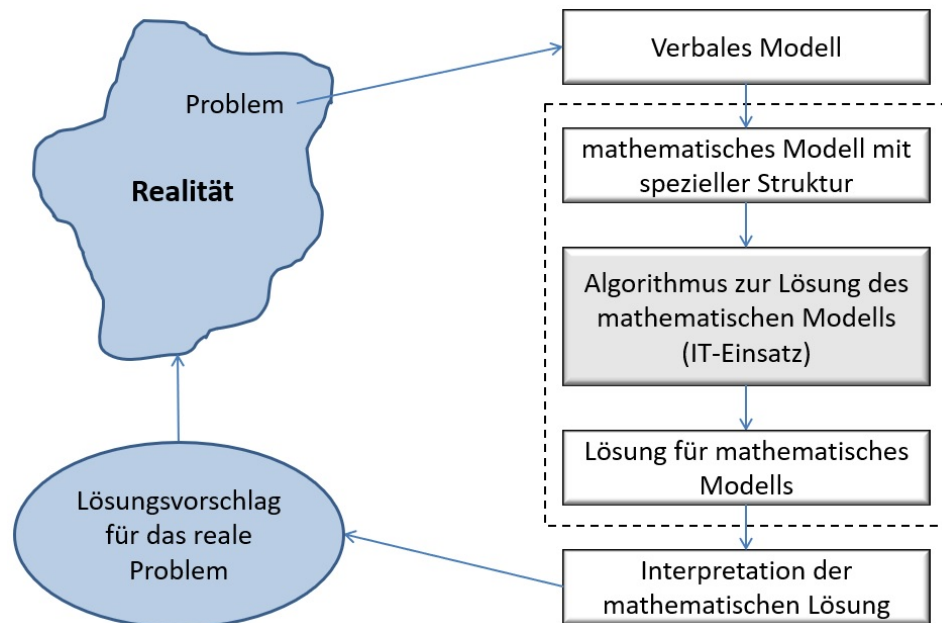


Abbildung 2.1: Problemlösungsprozess (in Anlehnung an WERNERS (2013), S. 2 und ZIMMERMANN (2008), S. 2)

Der Weg von der Identifikation eines realen Problems als solches bis zu dessen Lösung ist auch bei einer strukturierten Herangehensweise mit verschiedenen Hindernissen verbunden. Zunächst einmal muss ein Problem, wie bereits erwähnt, auch als solches erkannt und darüber hinaus auch mit dessen Zielen entsprechend formuliert, also beschrieben und in Worte gefasst werden (verbales Modell). Danach ist das Abbilden des relevanten Ausschnitts der betrachteten Realität in einem quantitativen Modell in angemessener Form erforderlich. Dieser Schritt setzt natürlich die Analyse der relevanten Zusammenhänge des zugrunde liegenden Realproblems voraus und ist verständlicherweise einer der kritischsten Schritte in dem hier beschriebenen Prozess.

Das erstellte mathematische Modell erlaubt dann eine methodische Verarbeitung der beschafften und aufbereiteten Daten im Rahmen der Lösungsermittlung. Die Interpretation der gewonnenen Lösung dient dann wiederum als Entscheidungsgrundlage für das reale Problem. In der Regel ist der dargestellte Kreislauf mehrfach zu durchlaufen, da so erst alle relevanten Aspekte ausreichend im Modell berücksichtigt werden können (vgl. WERNERS (2013), S. 3).

Die Rolle der Modellierungs- und Lösungstechniken des Operations Research soll im nun folgenden Abschnitt genauer beleuchtet werden.

2.1.3 Modellierungs- und Lösungsmethoden als Kernelemente des Operations Research

Modellierungs- und Lösungstechniken nehmen in dem im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen und in Abbildung 2.1 dargestellten OR-Prozess eine zentrale Rolle ein. Dabei ist es von großer Bedeutung festzuhalten, dass Methoden des Operations Research nicht unmittelbar auf die Realität, sondern auf Modelle der Realität angewendet werden (vgl. SUHL und MELLOULI (2013), S. 6). Ein Modell ist dabei ein zweckorientiertes, oftmals vereinfachtes Abbild eines Ausschnitts der Realität, also eine „*Abstraktion der Realität*“ (LITTEGER (1992), S. 11), welches bezüglich der bedeutenden Zusammenhänge entweder strukturähnlich oder gar strukturgleich ist.

Zunächst ist zu klären, welches Ziel (welche Ziele) der Entscheidungsträger verfolgt, welche Größen (Entscheidungsvariablen) es zu bestimmen gilt und welche Restriktionen zu berücksichtigen sind (vgl. SUHL und MELLOULI (2013), S. 6). Wichtig ist hier zu verstehen, dass es zu einem zugrunde liegenden Entscheidungsproblem stets mehrere „richtige“ Modelle geben kann, da ein Modell die Realität eben abstrahiert (vgl. LITTEGER (1992), S. 11). So sind mitunter die bei der Modellerstellung gewählten Strukturen mitentscheidend für den erfolgreichen Einsatz von OR-Methoden. Unter Betrachtung dieses Aspekts bezeichnet unter anderem Littger die Erstellung eines guten Modells als „Kunst“, da das Abstraktionsvermögen und auch die Kreativität des Modellbildners von großer Bedeutung sind (vgl. LITTEGER (1992), S. 11). Die Modellerstellung ist, wie im vorherigen Abschnitt schon erwähnt, ein sehr wesentlicher Schritt im beschriebenen OR-Prozess. Der Modellbildner sollte deswegen auf adäquate Kenntnisse des vorhandenen Problems in seiner betrieblichen Umgebung und auf Kenntnisse über Fähigkeiten und Grenzen verfügbarer OR-Methoden Zugriff haben (vgl. LITTEGER (1992), S. 11). Die Methoden des Operations Research „sind daher grundsätzlich interdisziplinär ausgerichtet“ (SUHL und MELLOULI (2013), S. 7). Je nach Art des gebildeten/gewählten Modells kommen zur Lösungsfindung unterschiedliche Verfahren (Algorithmen, Methoden im engeren Sinn) zur Anwendung.

Unter einer Methode des Operations Research ist ein Verfahren zu verstehen, das ein zuvor definiertes formales Problem (eingebettet in einen wirtschafts-

wissenschaftlichen Hintergrund) nach endlich vielen Schritten löst oder zu der Aussage gelangt, dass keine Lösung existiert. Diese Methoden im engeren Sinne sind auf bestimmte Probleme oder Problemklassen anwendbar und können untereinander abgegrenzt werden.

OR-Methoden können nicht nur im betriebswirtschaftlichen Bereich, sondern auch zur Lösung von natur- und ingenieurwissenschaftlichen Problemen verwendet werden (vgl. KOOP und MOOCK (2008), S. 4). Letztendlich kommen die Verfahren des Operations Research in vielen anderen Disziplinen und Fachgebieten zum Einsatz, die damit an deren Verbreitung und auch an deren Weiterentwicklung mitwirken (vgl. WERNERS (2013), S. 2). Zur Betrachtung der Vielfalt sei hier auf entsprechende Sammelwerke verwiesen (z. B. WERNERS und GABRIEL (1994) oder FLEUREN et al. (2004)).

Der Zugang zu den Verfahren des OR ist auf zwei verschiedene Arten denkbar (vgl. KOOP und MOOCK (2008), S. 4):

- *problemorientiert*, d. h. man startet mit einem gegebenen Problem aus einem bestimmten Sachverhalt, für das dann neben einem mathematischen Modell ein zugehöriges Lösungsverfahren zu suchen ist. Zwar führt diese Vorgehensweise gegebenenfalls schnell zum Erfolg, bei abweichender Problemstellung ist die Suche jedoch von vorne zu beginnen.
- *methodorientiert*, man eignet sich in einem ersten Schritt mathematische Modelltypen und zu diesen passende Lösungsverfahren an, bevor man dann entsprechende Verfahren auf gegebene Problemstellungen anwendet. Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist in der bedeutend breiteren Einsatzmöglichkeit zu sehen, deshalb wird diese hier auch präferiert.

2.2 Überblick zu den Methoden des Operations Research

2.2.1 Einteilung der Methoden des Operations Research

Kulhavy hielt 1963 fest, dass die „Verfahrenstechniken der betriebswirtschaftlichen Operationsforschung“ nicht systematisiert sind und ergänzt, dass es daran

liegt, „daß jeweils für den in Frage stehenden konkreten Fall diejenigen mathematischen bzw. statistischen Verfahren gesucht werden, die gerade geeignet sind, eine Lösung des Problems herbeizuführen. Man könnte sie leichter nach dem jeweiligen Anwendungsgebiet als nach ihrem mathematisch-statistischen Vorgang gruppieren“ (KULHAVY (1963), S. 49).

Erste Gruppierungsversuche etwa in

- mathematische Methoden,
- statistische Methoden und
- logistische Methoden

sind „noch nicht befriedigend“ und auch andere, wie etwa die von Kulhavy aus der damaligen „Zeitschrift für Betriebswirtschaft“ entnommene Einteilung in

- Bestimmte statistische Verfahren,
- Lineare Programmierung,
- Simplex-Methode,
- Warteschlangen-Theorie,
- Spieltheorie,
- Monte-Carlo-Theorie und
- Logistik oder symbolische Logik

sind nicht hinreichend systematisiert (vgl. KULHAVY (1963), S. 49 f.).

Zu den von Kulhavy aufgezählten „klassischen Verfahren“ des lineares Programmierens, der Theorie der Warteschlangen und der Spieltheorie (vgl. KULHAVY (1963), S. 50) sind zahlreiche Verfahren hinzugekommen. Auch wurden etliche Systematisierungen und Einteilungen vorgenommen.

Eine heutzutage gängige Einteilung der Methoden des Operations Research (vgl. hierzu etwa DOMSCHKE et al. (2015), ELLINGER et al. (2001), SUHL und MELLOULI (2013) oder ZIMMERMANN (2008)) unterscheidet zwischen

- Verfahren der linearen Optimierung,
- Verfahren der nichtlinearen Optimierung,
- Verfahren der ganzzahligen und gemischt-ganzzahligen Optimierung,
- Dynamischer Optimierung,
- Entscheidungsbaumverfahren,
- Entscheidungs- und Spieltheorie,
- Graphentheoretische Verfahren und Netzplantechnik,
- Simulation,
- Warteschlangentheorie und
- Heuristischen Verfahren und Metaheuristiken.

Ellinger et al. fassen die Verfahren der linearen, nichtlinearen, ganzzahligen und gemischt-ganzzahligen Optimierung unter dem Begriff *statische Optimierung* zusammen (vgl. ELLINGER et al. (2001)).

Suhl und Mellouli fassen die genannten Verfahren der statischen Optimierung mit den Verfahren der netzwerkbasierten Optimierung zusammen und ordnen diese dem Begriff der *mathematischen Optimierung* zu (vgl. SUHL und MELLOULI (2013), S. 20). Darunter wird allgemein die Maximierung oder Minimierung einer Zielfunktion unter Berücksichtigung bestimmter Nebenbedingungen verstanden (vgl. SUHL und MELLOULI (2013), S. 20).

Nachfolgend sollen nun ausgewählte Teilbereiche des OR vorgestellt und einzelne Methoden daraus kurz betrachtet werden.

2.2.2 Methoden der linearen Optimierung

2.2.2.1 Das Grundmodell der linearen Optimierung

Die lineare Optimierung oder auch lineare Programmierung (Übersetzung des englischen Begriffs „Linear Programming“) ist als das grundlegendste und mächtigste Teilgebiet des OR zu betrachten. Der ungarische Mathematiker

László Lovász bringt das mit seiner Aussage „Wenn man Statistiken darüber führte, welches mathematische Problem die meiste Computerzeit in der Welt verbrauchte, dann [...] wäre die Antwort wahrscheinlich Lineare Programmierung“ zum Ausdruck (SYDSÆTER und HAMMOND (2009), S. 710 und vgl. LOVÁSZ (1980), S. 141).

Ein lineares Optimierungsproblem (LP-Problem oder kürzer LP)

$$(LP) \{F(\mathbf{x}) | \mathbf{x} \in \mathbf{X}\} \rightarrow \max \text{ (oder min)}$$

ist durch eine lineare Zielfunktion $F(F|\mathbf{X} \rightarrow \mathbb{R})$

und eine Alternativenmenge \mathbf{X} charakterisiert, die durch lineare Nebenbedingungen beschrieben wird.

Es wird also eine gegebene Zielfunktion maximiert (oder minimiert), unter gleichzeitiger Berücksichtigung von linearen Nebenbedingungen, die in Form von Gleichungen oder Ungleichungen (\leq oder \geq) vorliegen können (vgl. SUHL und MELLOULI (2013), S. 8). Dabei erfolgt die Extremwertsuche der linearen Funktion F in Abhängigkeit von n Variablen (x_1, \dots, x_n) :

$$F(x_1, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \rightarrow \max$$

unter Berücksichtigung von m linearen Restriktionen

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\leq b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &\leq b_m \\ x_1, x_2, \dots, x_n &\geq 0. \end{aligned}$$

Die Darstellung des Optimierungsproblems kann auch kompakter in Vektor-Matrix-Notation erfolgen:

$$F(\mathbf{x}) = \mathbf{c}^T \mathbf{x} \rightarrow \max$$

u.d.N.

$$\begin{aligned} \mathbf{Ax} &\leq \mathbf{b} \\ \mathbf{x} &\geq \mathbf{0}, \end{aligned}$$

wobei

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}, \mathbf{b} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix}, \mathbf{c} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} \text{ und } \mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}.$$

\mathbf{A} ist die Koeffizientenmatrix oder auch Matrix der technischen Koeffizienten, \mathbf{b} der Begrenzungsvektor, \mathbf{c} der Vektor der Zielfunktionskoeffizienten und \mathbf{x} der Vektor der Entscheidungsvariablen. Die Elemente aus \mathbf{A} , \mathbf{b} und \mathbf{c} sind dabei beliebige, aber bekannte reelle Zahlen.

Das bisher betrachtete LP wird auch als das Grundmodell der linearen Optimierung bezeichnet. Vielfach erscheint dieses sehr restriktiv. Zum einen im Hinblick auf die Forderung einer zu maximierenden Zielfunktion, dann bei Betrachtung der Restriktionen, die lediglich als „ \leq “-Bedingungen vorliegen und zuletzt aufgrund der geforderten Nichtnegativität der Entscheidungsvariablen. Dazu sei gesagt, dass beliebige Varianten eines linearen Programms durch mathematische Transformationen auf die formale Gestalt des Grundmodells gebracht werden können.

Durch eine kontinuierliche Entwicklung der Algorithmen und Datenstrukturen in den letzten Jahrzehnten ist es heute möglich, rechnergestützt nahezu jedes beliebige als relevant betrachtete lineare Optimierungsmodell optimal zu lösen – praxisrelevante Modelle schließen dabei mitunter Millionen Variablen und Restriktionen mit ein (vgl. SUHL und MELLOULI (2013), S. 9 f.).

2.2.2.2 Simplex- und Innere-Punkt-Verfahren zur Lösung linearer Optimierungsprobleme

Das bekannteste Verfahren zur Lösung linearer Optimierungsprobleme (und „das wohl wichtigste Verfahren des Operations Research“ (KOOP und MOOCK (2008), S. 56)) ist der Simplex-Algorithmus, der 1947 vom amerikanischen Mathematiker George Bernard Dantzig (siehe DANTZIG (1949)) vorgestellt und seither von ihm und anderen Wissenschaftlern verbessert wurde. Benannt ist er nach dem mathematischen Begriffs des Simplex, einer konvexen Hülle von $n + 1$ Punkten im n -dimensionalen Raum. Der Name ist dabei einerseits eine Anspielung auf die geometrische Gestalt des Zulässigkeitsbereichs (vgl. KOOP und MOOCK (2008), S. 56) und andererseits auf die Vorgehensweise des Verfahrens. Dantzig selbst schrieb bescheiden über die von ihm entwickelte Simplex-Methode, dass er immer wieder aufgrund deren enormer Leistungsfähigkeit überrascht sein würde (vgl. DANTZIG (1991), S. 30).

Unter der Annahme, dass die Alternativenmenge \mathbf{X} des linearen Optimierungsproblems beschränkt und nichtleer ist, so ist diese die konvexe Hülle ihrer Eckpunkte. Das Optimum wird dann in mindestens einer Ecke angenommen. Ist der zulässige Bereich unbeschränkt, dann wird das Optimum (sofern existent) auch in einem Eckpunkt von \mathbf{X} angenommen. Demnach kann man sich bei der Suche nach der optimalen Lösung auf die abzählbar vielen Ecken des zulässigen Bereichs \mathbf{X} beschränken (vgl. u. a. KOOP und MOOCK (2008), S. 56 oder ZIMMERMANN (2008), S. 76).

Das Simplex-Verfahren geht in seiner primalen Form von einer zulässigen Ecke der Alternativenmenge aus. Charakteristischer Schritt des Verfahrens ist der Wechsel zu einer benachbarten Ecke des zulässigen Bereichs entlang einer Kante mit Verbesserung der Zielfunktion. Diese Wechsel erfolgen so lange, bis keine zulässige Ecke mit besserem Zielfunktionswert mehr existiert. Es wird also eine endliche Folge sich, gemessen an der Zielsetzung nicht verschlechternder Eckpunkte des zulässigen Bereichs gebildet. Dabei wird in jedem betrachteten Eckpunkt untersucht, ob das Optimum schon erreicht ist oder ob weiter gesucht werden soll. Auch die Fälle, in denen das betrachtete Problem möglicherweise unlösbar ist (weil der zulässige Bereich leer oder in Zielfunktionsrichtung unbeschränkt ist) oder mehrere optimale Lösungen hat, sind im Simplex-Verfahren abgedeckt.

Zentrale Idee des Simplex-Verfahrens ist es folglich, sich entlang der Kanten des konvexen Polyeders (als Beschreibung des zulässigen Bereichs) zur optimalen Lösung zu bewegen. Im Gegensatz hierzu basieren Innere-Punkt-Methoden auf dem Ansatz, bei der Lösung linearer Optimierungsprobleme schrittweise durch das Innere des zulässigen Bereichs zum Optimum zu gelangen.

Eine Motivation für die Bemühungen zur Entwicklung einer Alternative zur Simplex-Methode war insbesondere die Erkenntnis, dass der Aufwand des Simplex-Verfahrens exponentiell mit der Größe des Problems wachsen kann (vgl. KOOP und MOOCK (2008), S. 99). Victor Klee und George Minty lieferten unter anderem mit ihrer Arbeit (KLEE und MINTY (1972)) den entscheidenden Beitrag zu dieser Erkenntnis. Sie haben ein Beispiel eines LP-Problems mit n Variablen konstruiert, in dem 2^n Ecken zu untersuchen sind, so dass die Simplex-Methode in der Durchführung exponentiell viele Schritte benötigen kann (vgl. KALLRATH (2013), S. 314).

Die Frage nach der Existenz eines Verfahrens zur Lösung linearer Optimierungsprobleme mit polynomialer Komplexität wurde 1979 vom russischen Mathematiker Leonid G. Khachiyan positiv mit seiner „Ellipsoidmethode“ beantwortet (siehe KHACHIYAN (1979)). Die von ihm vorgestellte, in Polynomialzeit konvergierende Alternative zum Simplex-Verfahren erwies sich allerdings als für praktische Rechnungen eher ungeeignet (vgl. KOOP und MOOCK (2008), S. 109), da im Laufe des Verfahrens immer schmäler werdende Ellipsoide numerische Instabilität und hohe Iterationszahlen verursachten.

Der Durchbruch zur Entwicklung effizienter Innerer-Punkt-Methoden gelang dem indischen Mathematiker Narendra K. Karmarkar mit der Vorstellung seiner Variante eines Innere-Punkt-Verfahrens im Jahre 1984 (siehe KARMARKAR (1984)). Diese Veröffentlichung, zusammen mit Behauptungen von Karmarkar, dass eine algorithmische Umsetzung seiner Methode erheblich besser wäre als der Simplex-Algorithmus, lösten einen Zuwachs an Forschungsaktivitäten zu Innere-Punkt-Verfahren aus.

Später wurde festgestellt, dass das Verfahren von Karmarkar in ähnlicher Form bereits 1967 vom sowjetischen Mathematiker Ilya I. Dikin (siehe DIKIN (1967)) vorgeschlagen wurde (vgl. KOOP und MOOCK (2008), S. 99), die Arbeit zur

Methode von Dikin wurde jedoch zunächst nicht wahrgenommen. Dabei ist eine einfachere Transformation (lineare anstelle einer projektiven) des aktuellen Punktes in das Innere des zulässigen Bereichs Grundlage dieser Methode, die auch als *affine Methode* (vgl. KOOP und MOOCK (2008), S. 99) bezeichnet wird. 1974 hat Dikin die Konvergenz seiner Methode bewiesen (siehe DIKIN (1974)).

Das Verfahren von Dikin wird in Abschnitt 2.4.1 auf Seite 50 ff. ausführlich vorgestellt und in Abschnitt 2.4.2 auf Seite 59 ff. anhand eines elementaren Beispiels betrachtet. Darüber hinaus dient das Verfahren in den Kapiteln 4, S. 123 ff. und 5, S. 160 ff. der Veranschaulichung einer Lernsoftware.

Innere-Punkt-Verfahren lassen sich bezüglich ihrer Lösungsstrategien in vier Kategorien einteilen (vgl. DEN HERTOOG und ROOS (1991)):

1. Rein affine Skalierungsverfahren,
2. Projektive Methoden,
3. Pfadfolgende Methoden,
4. Affine Potential-Reduktionsmethoden.

Zu den rein affinen Skalierungsmethoden gehört, wie schon erwähnt, das Verfahren von Dikin. Das Verfahren von Karmarkar ist den projektiven Methoden zuzuordnen. Pfadfolgende Methoden wurden etwa von Monteiro und Adler (siehe MONTEIRO und ADLER (1989)) vorgeschlagen. Affine Potential-Reduktionsmethoden, wie etwa die Methode von Freund (siehe FREUND (1991)), verwenden unter anderem eine primale Skalierung und projizierte Gradienten der Potentialfunktion, in die die Werte der primalen Struktur- und der dualen Schlupfvariablen einfließen (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 174).

Simplex- und Innere-Punkt-Verfahren können ihre jeweiligen Stärken bei speziellen Problemstrukturen ausspielen. So sind beispielsweise Innere-Punkt-Methoden für große, dünn besetzte Probleme oder hochgradig entartete LP-Probleme häufig dem Simplex-Verfahren überlegen. Moderne Softwarepakete enthalten deshalb sowohl Simplex- als auch Innere-Punkt-Methoden (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 175). Beispielhaft sind hier etwa die Produkte CPLEX (vgl. MAXIMAL SOFTWARE (2020a)), MOPS (vgl. MAXIMAL SOFTWARE (2020b)) oder

XPRESS-MP (vgl. MAXIMAL SOFTWARE (2020c)) zu nennen.

Ein weiterer Vorteil (neben der genannten polynomialen Laufzeit) Innerer-Punkt-Verfahren ist, dass sie sich im Gegensatz zur Simplex-Methode durch geeignete (und geringfügige) Anpassung auch zum Lösen bestimmter nichtlinearer Problemstellungen eignen.

2.2.3 Methoden der nichtlinearen Optimierung

Ein nichtlineares Optimierungsproblem (NLP) ist durch eine nichtlineare Zielfunktion F ($F|\mathbf{X} \rightarrow \mathbb{R}$) und/oder mindestens eine nichtlineare Nebenbedingung charakterisiert.

Gesucht sind also Extremwerte einer Funktion F in Abhängigkeit von n Variablen (x_1, \dots, x_n) :

$$F(x_1, \dots, x_n) \rightarrow \max$$

unter Berücksichtigung von m Restriktionen

$$\begin{aligned} g_1(x_1, \dots, x_n) &\leq 0 \\ g_2(x_1, \dots, x_n) &\leq 0 \\ &\vdots \\ g_m(x_1, \dots, x_n) &\leq 0. \end{aligned}$$

Die Darstellung des Optimierungsproblems kann auch kompakter erfolgen:

$$F(\mathbf{x}) \rightarrow \max$$

u.d.N.

$$g_i(\mathbf{x}) \leq \mathbf{0} \quad (i = 1, \dots, m),$$

wobei \mathbf{x} der Vektor der Entscheidungsvariablen ist.

Im Gegensatz zur linearen Optimierung existiert für nichtlineare Optimierungsprobleme keine mit dem Simplex- oder den Inneren-Punkt-Verfahren vergleichbare universale Methodik zu deren Lösung. Diese wird es aufgrund der Vielfalt möglicher Funktionstypen und deren Kombinationen in Modellen auch nicht geben (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 188). Damit begründet ist die Anzahl mittlerweile existenter Verfahren zur Lösung spezieller Typen der nichtlinearen Programmierung sehr groß, die überwiegend basieren auf (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 189):

- klassischen Optimierungsansätzen wie der Differentialrechnung (Gradientenverfahren, ...),
- kombinatorischen Ansätzen, die für diskrete Problemstellungen entwickelt wurden,
- Methoden, welche auf die effizienten Vorgehensweisen der linearen Programmierung zurückgreifen.

Generell kann man nun innerhalb der nichtlinearen Optimierung in unterschiedliche Problemtypen unterscheiden, für die dann unterschiedliche Lösungsverfahren zur Anwendung kommen. Hier sollen nun beispielhaft einige ausgewählte Problemtypen und Verfahren angeführt werden.

Genannt werden können zunächst sogenannte unrestringierte Probleme, d. h. Optimierungsprobleme ohne Nebenbedingungen. Hier kann in vielen Fällen die Differentialrechnung (beispielsweise das Gradientenverfahren) zur Lösungsermittlung herangezogen werden. In anderen Fällen werden numerische Verfahren verwendet, die ausgehend von einem Startpunkt Schritt für Schritt neue Punkte berechnen, die unter bestimmten Voraussetzungen gegen das gesuchte Optimum konvergieren. Hierzu gehören unter anderem das Newton-Verfahren und die Quasi-Newton-Verfahren.

Da in praktischen Anwendungen häufig Nebenbedingungen zu berücksichtigen sind, müssen sogenannte restringierte Probleme betrachtet werden. Innerhalb dieser Probleme spricht man von einem konvexen Optimierungsproblem, falls neben der Zielfunktion auch die Menge der zulässigen Punkte konvex ist. Die Besonderheit der konvexen Programmierung besteht darin, dass ein gefundenes lokales Optimum gleichzeitig auch das globale Optimum ist (was bei nicht-

konvexen Lösungsräumen nicht so sein muss). Zur Lösung solcher Probleme werden vielfach die Karush-Kuhn-Tucker-Bedingungen verwendet (siehe etwa KUHN und TUCKER (1951)).

Die sogenannte quadratische Programmierung stellt einen Unterfall der nicht-linearen Optimierung dar. Die hier betrachteten Modelle besitzen eine quadratische Zielfunktion und lineare Nebenbedingungen. Sehr häufig wird in diesen Fällen der Algorithmus von Wolfe (WOLFE (1959)) zur Ermittlung einer optimalen Lösung angewendet. Dieser stellt eine Kombination aus der Simplex-Methode und der Karush-Kuhn-Tucker-Bedingungen (siehe etwa KUHN und TUCKER (1951)) dar.

2.2.4 Entscheidungsbaummethoden

In Problemstellungen zur linearen und nichtlinearen Optimierung stehen stetige Variablen im Mittelpunkt bzw. werden ausdrücklich gefordert. In der ganzzahligen oder gemischt-ganzzahligen Optimierung hingegen ist die Ganzzahligkeit aller (Integer Programming, IP) oder mancher (Mixed Integer Programming, MIP) Variablen ausdrücklich gefordert. Hierzu zählt auch die Forderung nach Binärvariablen (Binary Integer Programming, BIP). Sind neben der Betrachtung diskreter Variablen Zielfunktion und Restriktionen nach wie vor linear, so spricht man von ganzzahligen oder gemischt-ganzzahligen linearen Programmen (Mixed Integer Linear Programming, MILP). Die Ganzzahligkeitsbedingung anstelle einer kontinuierlichen Betrachtung einer oder mehrerer Variablen führt zu einer Reduzierung der Menge der zulässigen Alternativen. Ist darüber hinaus der zulässige Bereich endlich, so spricht man auch von einem kombinatorischen Optimierungsproblem. Dabei können viele kombinatorische Optimierungsprobleme als ganzzahlige oder binäre (lineare) Programme formuliert werden. Die angesprochene Reduzierung der Menge der zulässigen Alternativen führt im Allgemeinen nicht zu einer „einfacheren“ Lösbarkeit des Problems. Vielmehr zählen die meisten ganzzahligen und kombinatorischen Problemtypen zu den *NP*-schweren Problemen. Aus diesem Grund kommen zur Lösung solcher Problemstellungen neben exakten Verfahren vor allem auch Heuristiken (siehe auch Abschnitt 2.2.6, S. 30 ff.) zum Einsatz.

Generell lassen sich zwei grundsätzliche Möglichkeiten unterscheiden, ganzzahlige und kombinatorische Optimierungsprobleme exakt zu lösen. Bei der Durchführung einer vollständigen Enumeration werden alle zulässigen Alternativen untersucht und bewertet. Im Rahmen einer beschränkten Enumeration wird hingegen nur eine eingeschränkte Anzahl von zulässigen Alternativen zur Untersuchung herangezogen. Die erste Möglichkeit der vollständigen Enumeration erreicht jedoch bei ganzzahligen und kombinatorischen Optimierungsproblemen schnell ihre Grenzen, scheitert also am inakzeptablen Rechenaufwand und vor allem an der damit verbundenen Rechenzeit. Dennoch ist es angebracht, das Prinzip der Enumeration weiterzuverfolgen und sich des grafischen Modells des (Entscheidungs-) Baumes zu bedienen und die Enumeration durch Ausnutzen bestimmter Strukturen der betrachteten Probleme zu beschränken.

Der Entscheidungsbaum stellt die Struktur des Problems dar (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 231). Die Problemlösung wird in der Wurzel begonnen. Durch entsprechende Informationen kommen Zweige (Kanten und Knoten) hinzu und der Baum entwickelt sich. Das Ziel von Entscheidungsbaumverfahren besteht nun darin, das Problem, das sich durch einen Entscheidungsbaum darstellen lässt, zu lösen, ohne dabei den Entscheidungsbaum insgesamt erstellen zu müssen (vollständige Enumeration) und die optimale Lösung nur durch Absuchen eines möglichst kleinen Teils des Entscheidungsbaums ausfindig machen zu können. (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 233).

Zimmermann zählt hierzu vier mögliche Vorgehensweisen

- implizite Enumeration (BALAS (1965)),
- begrenzte Enumeration (MÜLLER-MERBACH (1966)),
- Branch and Bound-Ansatz (DAKIN (1965)) und
- Dynamische Programmierung (BELLMAN (1957))

auf (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 233), die sich hauptsächlich in ihrer rechen-technischen Organisation, also in der Art und Weise, wie der Baum aufgebaut und abgearbeitet wird und durch entsprechende Zuordnungen zu Kanten und Knoten des Baumes unterscheiden.

Das weit verbreitete Branch-and-Bound-Verfahren von Dakin, das auch einfach implementiert werden kann, soll hier exemplarisch herausgegriffen werden.

Dieses beinhaltet, wie der Name schon besagt, zwei elementare Teilschritte, das Branching und das Bounding. Ziel ist es durch diese den zu untersuchenden Lösungsraum möglichst gering zu halten. Durch geschicktes Verzweigen (Branching) wird das betrachtete Problem in zwei oder mehr Teilprobleme (Knoten) aufgeteilt. Die Teilprobleme werden nacheinander untersucht (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 252), wobei für die Auswahl des nächsten zu bearbeitenden Knotens verschiedene Vorgehensweisen existieren. Durch die Abgrenzung (Bounding) sollen mit Hilfe oberer und unterer Schranken für den Wert der Zielfunktion oder aber über den Nachweis der Unzulässigkeit Zweige des Entscheidungsbaumes vor der weiteren Berechnung von der Betrachtung ausgeschlossen werden, um dadurch den Lösungsaufwand zu verringern (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 253).

Mit Blick auf die Lösung ganzzahliger linearer Problemstellungen können etwa Schnittebenenverfahren, wie beispielsweise das Verfahren von Ralph E. Gomory (GOMORY (1958)), als Alternative zu den Entscheidungsbaumverfahren angeführt werden. Im Gegensatz zur Aufteilung der Lösungsmenge bei den gerade beschriebenen Branch-and-Bound-Verfahren, wird diese beim Schnittebenenverfahren von Gomory nur verkleinert. Dem relaxierten Problem werden schrittweise weitere Nebenbedingungen (Schnittebenen) hinzugefügt, die aus dem zulässigen Bereich solche Bereiche entfernen, die keine ganzzahligen Lösungen enthalten. Ganzzahlige zulässige Punkte dürfen durch die neuen Restriktionen nicht unzulässig gemacht werden. Dies wird fortgesetzt, bis eine ganzzahlige Lösung aufgefunden wird (vgl. hierzu u. a. KOOP und MOOCK (2008), S. 155). Insbesondere auch aufgrund der schnelleren Konvergenz schneiden Branch-and-Bound-Verfahren günstiger ab und werden deshalb bei komplexeren Aufgabenstellungen auch häufiger verwendet.

2.2.5 Graphentheoretische Methoden

Graphentheoretische Verfahren lassen sich in vielen Bereichen der Entscheidungsvorbereitung anwenden. Das lässt sich einerseits dadurch erklären, dass sich viele Sachverhalte in anschaulicher Weise graphenbasiert darstellen lassen. Andererseits existiert auch eine große Auswahl an leistungsstarken Algorithmen zur Lösung entsprechender graphenbasierter Problemstellungen.

Dabei besteht ein Graph \mathbf{G} aus einer (nichtleeren) Knotenmenge \mathbf{V} (engl. vertex), einer Kanten- oder Pfeilmenge \mathbf{E} (engl. edge) und einer Abbildung (Inzidenzabbildung) γ , die jedem Element aus \mathbf{E} genau ein Tupel (i, j) , d. h. ein Knotenpaar mit i und j aus \mathbf{V} (auch $i = j$ möglich), zuordnet (vgl. DOMSCHKE et al. (2015), S. 72).

Bei einem ungerichteten Graph sind die Tupel (i, j) aus \mathbf{E} nicht geordnet und werden als Kanten bezeichnet. Bei einem gerichteten Graph $\mathbf{G} = (\mathbf{V}, \mathbf{E})$ hingegen sind die Tupel (i, j) aus \mathbf{E} geordnet und werden deshalb Pfeile (gerichtete Kanten) genannt.

Neben der erfolgten Klärung des Begriffs des Graphen wird hier auf weitere grundlegende Definitionen verzichtet und dafür beispielhaft verwiesen auf die Werke von Reinhard Diestel (DIESTEL (2017)), Klaus Neumann (NEUMANN (1975)) und Hartmut Noltemeier (NOLTEMEIER (1976)).

Viele graphentheoretische Verfahren bauen auf verschiedenen rechnergestützten Speichermöglichkeiten für Graphen auf und unterscheiden sich auch in ihrer Effizienz. Großen Anklang finden insbesondere die Methoden zur Bestimmung kürzester Wege in Graphen. Generell ist bei der Bestimmung kürzester Wege zu unterscheiden, ob diese

- von einem Knoten zu einem anderen Knoten,
- von einem Knoten zu allen anderen Knoten oder
- zwischen allen Knoten

zu ermitteln sind.

Ein kürzester Weg von einem Startknoten s zu einem Zielknoten z ist derjenige, der unter allen möglichen Wegen von s nach z die geringste Länge besitzt (Weg minimaler Länge). Die Länge eines Weges wird dabei über die Summe der Bewertungen aller Kanten dieses Weges ermittelt.

Eine typische Anwendung solcher Kürzester-Wege-Algorithmen ist die Ermittlung eines kürzesten Weges zwischen zwei Orten. Dabei wird ein Graph beispielsweise als abstrakte Abbildung des Straßennetzes gebildet oder etwa als Computernetzwerk aufgefasst, um den Transport von Datenpaketen zwischen bestimmten Punkten in diesem zu betrachten.

Eines der hier gebräuchlichsten und bekanntesten Verfahren ist der Algorithmus von Edsger W. Dijkstra (DIJKSTRA (1959)), der die kürzesten Wege von einem ausgewählten Knoten zu allen anderen Knoten ermittelt (vorausgesetzt, die Kantenbewertungen sind nicht-negativ). Dieser Algorithmus wird auch als Label-Setting-Verfahren bezeichnet, da jeder Knoten im Verfahrensablauf nur einmal überprüft wird.

Bei sogenannten Label-Correcting-Verfahren können Knoten eventuell mehrfach überprüft werden. Zu diesen zählen beispielsweise der Ford-Moore- (FORD JR. (1962), MOORE (1959)) oder auch der Floyd-Warshall-Algorithmus (FLOYD (1962), WARSHALL (1962)), der aufgrund seiner Vorgehensweise auch Tripel-Algorithmus genannt wird. Beide Verfahren können mit negativ bewerteten Kanten umgehen, es dürfen allerdings keine Zyklen negativer Länge vorhanden sein. Der Ford-Moore-Algorithmus bestimmt die kürzesten Wege von einem Knoten zu allen anderen Knoten. Der Tripel-Algorithmus ermittelt simultan die kürzesten Wege zwischen jedem Knotenpaar des Graphen.

Durch Modifikationen der hier genannten Algorithmen lassen sich entsprechend auch längste Wege in Netzwerken bestimmen (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 353), um beispielsweise auch kritische Wege in Planungsproblemen ausfindig zu machen. Bei den erwähnten Label-Correcting-Verfahren sind dazu zunächst die Kantenbewertungen mit -1 zu multiplizieren. Umgekehrt zur vorherigen Anmerkung ist nun zu überprüfen, dass der betrachtete Graph keine Zyklen positiver Länge enthält. Bei der anschließenden Ermittlung der kürzesten Wege im so modifizierten Graphen erhält man somit die längsten Wege im ur-

sprünglichen Graphen. Da der Dijkstra-Algorithmus nichtnegative Kantenlängen voraussetzt, sind hier andere Anpassungen erforderlich (siehe beispielsweise KÜPPER et al. (1975), S. 42).

Neben den genannten Verfahren zur Ermittlung kürzester und auch längster Wege sind in der Praxis insbesondere Verfahren zur Bestimmung maximaler Flüsse in Netzwerken von Bedeutung. Diese eignen sich beispielsweise dazu, um einen maximalen stetigen Strom einer Flüssigkeit in einem Leitungssystem (beispielsweise Pipelines) von einer Quelle zu einer Senke zu ermitteln. Auch können damit etwa Menschenströmungen (zu Fuß oder in Fortbewegungsmitteln) organisiert und Transporte in Netzwerken (Stromtrassen, Datennetzwerken) optimiert werden.

Eines der bekanntesten Verfahren hierzu ist der von Lester R. Ford Jr. und Delbert R. Fulkerson entwickelte und nach Ihnen benannte Ford-Fulkerson-Algorithmus (FORD JR. und FULKERSON (1956)). Ausgangslage ist ein kapazitiertes Netzwerk. Ford und Fulkerson betrachten in ihrer Arbeit das Problem eines Schienennetzes, das zwei Städte über mehrere zwischen diesen liegenden Städte verbindet, wobei jede Verbindung kapazitiert ist, und für das ein maximaler Fluss von der einen zur anderen Stadt gefunden werden soll (vgl. FORD JR. und FULKERSON (1956), S. 399). Der Ford-Fulkerson-Algorithmus geht von einem zulässigen Ausgangsfluss aus. Basierend auf diesem findet so lange eine iterative Verbesserung des Flusses statt, bis der maximale Fluss erreicht ist. Voraussetzung ist, dass die gegebenen Kapazitäten ganzzahlig (bei entsprechend zu leistender Vorarbeit rational) sind.

Die hier zugrunde liegenden Netzwerkflussprobleme können auch als lineare Programme formuliert und dann beispielsweise mit dem Simplex-Algorithmus gelöst werden. Allerdings bietet der Ford-Fulkerson-Algorithmus in den meisten Fällen eine einfachere und effizientere Vorgehensweise zur Lösungsermittlung. Eine Verbesserung des Ford-Fulkerson-Verfahrens mit Blick auf die Laufzeit stellt in bestimmten Fällen beispielsweise der Edmonds-Karp-Algorithmus (durch Einschränkung der Auswahl des flussvergrößernden Weges) dar (EDMONDS und KARP (1972)).

2.2.6 Weitere OR-Methoden

Wie schon erwähnt existieren im Operations Research mittlerweile zahlreiche Methoden, auch wird zudem an der Entwicklung neuer Methoden gearbeitet, so dass hier eine Beschreibung sämtlicher Methoden nur schwer möglich und zudem auch nicht erforderlich ist. Neben den bereits erwähnten Methoden und Methodenklassen soll hier zunächst noch ein Blick auf die mitunter sehr praxisrelevanten Verfahren der Netzplantechnik und der Simulation geworfen werden, bevor dieser abschließend auf den Bereich der Heuristiken fällt.

Die Netzplantechnik (NPT) dient dem Management (d.h. der Planung und Kontrolle) komplexer Projekte (vgl. etwa DOMSCHKE et al. (2015), S. 103). Die Norm DIN 69901-5 (2009) definiert ein Projekt als ein „Vorhaben, das im Wesentlichen durch Einmaligkeit der Bedingungen in ihrer Gesamtheit gekennzeichnet ist, wie z. B. Zielvorgabe, zeitliche, finanzielle, personelle oder andere Begrenzungen, Abgrenzung gegenüber anderen Vorhaben, projektspezifische Organisation“. Beispiele hierfür sind Bauprojekte (Gebäude, Kraftwerke, Fabriken, Schiffe, Flugzeuge, ...), Projekte der betrieblichen Organisation (Einführung neuer Software, Einführung neuer Fertigungstechnologien, ...), Planung von Großveranstaltungen (Konzerte, Europa-, Weltmeisterschaft, Olympiade, ...) (vgl. DOMSCHKE et al. (2015), S. 103).

Die in diesen Fällen zugrunde liegenden Problemstellungen werden mit Hilfe der Graphentheorie abgebildet und gelöst. Die ersten zu nennenden Methoden der NPT wurden in den 50er-Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt und sind (vgl. DOMSCHKE et al. (2015), S. 103):

- CPM (Critical Path Method), USA 1956,
- MPM (Metra Potential Method), Frankreich 1957,
- PERT (Program Evaluation and Review Technique), USA 1956.

Die Planung von Projekten lässt sich in unterschiedliche Bereiche zerlegen. So umfasst die Strukturplanung neben der Identifikation sämtlicher Elemente eines Projektes und der Festlegung ihrer Reihenfolge auch die Visualisierung des Projekts mittels eines geeigneten Netzplans (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 366 ff.). In diesem Zusammenhang versteht man unter einem Netzplan die Zuordnung des Projektablaufs zu einem bewerteten Digraphen. Als Elemente sind

die zahlreichen einzelnen Aktivitäten (Tätigkeiten, Arbeitsgänge) benannt, in die sich das Projekt unterteilen lässt. Diese Aktivitäten werden als Vorgänge bezeichnet. Ein Vorgang ist somit ein zeitbeanspruchender Projektbestandteil mit festgelegtem Anfang und Ende (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 364). Ein Ereignis hingegen ist ein Zeitpunkt, der das Eintreten eines definierten Zustandes des Projekts kennzeichnet (vgl. DOMSCHKE et al. (2015), S. 104).

Die Zeitplanung beinhaltet die Festlegung der Start- und Endzeitpunkte von Vorgängen, die Ermittlung frühester und spätester Zeiten für die Ereignisse sowie die Bestimmung der kürzesten Projektdauern, Pufferzeiten, kritischer Vorgänge und daraus folgend kritischer Wege (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 370 ff.). Aufgabe der Kostenplanung ist etwa die Ermittlung der Minimalkosten des Projekts. Hier sind die Ansätze, die Kosten bei gegebener Projektdauer oder die Projektdauer bei gegebenen Kosten zu minimieren, denkbar. Da die für einzelne Arbeitsgänge benötigten Einsatzmittel in der Regel nicht unbeschränkt zur Verfügung stehen, ist es Aufgabe der Kapazitätsplanung, die Einsatzmittel den Arbeitsgängen in geeigneter Weise zuzuteilen (siehe etwa ZIMMERMANN (2008), S. 375).

Die Betrachtung zur Netzplantechnik soll hier mit einer kleinen Aufzählung gewichtiger Vor- und Nachteile dieser Verfahren enden. So sind etwa als Vorteile zu nennen:

- Die Vorarbeit zur Erstellung eines Netzplans erfordert die intensive Auseinandersetzung mit dem gesamten Projektablauf und führt zu dessen übersichtlicher Darstellung einschließlich sämtlicher Abhängigkeiten.
- Die Anwendung der Netzplantechnik ist in der Regel mit wesentlichen Zeit- und Kosteneinsparungen verbunden.
- Identifizierung von kritischen Wegen und Ressourcenengpässen, die den Endtermin gefährden könnten (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 373 f.).
- Die Netzplantechnik ist Basis zur Kontrolle und Steuerung des Projektfortschritts hinsichtlich der Überwachung der Einhaltung von Terminen, Kapazitäten und Kosten.
- Mit Hilfe einer grafischen Darstellung des Projekts lassen sich Zuständigkeits- und Verantwortungsbereiche festlegen.

Dieser Aufzählung der Vorteile, die die Nutzung der Netzplantechniken mit sich bringt, stehen auch einige Nachteile gegenüber:

- So sind etwa für kleine Projekte die Vorgehensweisen der Netzplantechnik zu aufwendig. Hier eignen sich einfachere Methoden wie die Darstellung der einzelnen Elemente des Projekts in einem Balkendiagramm (Gantt-Diagramm) (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 364).
- Darüber hinaus ist mit der steigenden Höhe des Detaillierungsgrads eines Netzplanes auch ein höherer Aufwand zur Reduzierung bzw. Vermeidung von Fehlern durch Abweichungen zwischen Soll- und Istzustand eines Projektes notwendig.
- Und letztendlich führt die zu abstrakte Darstellung der einzelnen Aktivitäten in einem Netzplan möglicherweise dazu, dass dieser von den Projektbeteiligten nicht verstanden wird.

Nach den Methoden der Netzplantechnik soll hier nun ein Blick auf den Bereich der Simulation geworfen werden. Nach Domschke et al. ist diese „– neben der Netzplantechnik, der linearen und der kombinatorischen Optimierung – das für die Praxis wichtigste Teilgebiet des Operations Research“ (DOMSCHKE et al. (2015), S. 233).

Von besonderer Bedeutung ist eine Simulation in folgenden Fällen (vgl. DOMSCHKE et al. (2015), S. 233):

- Ein geeignetes mathematisches Optimierungsverfahren ist nicht verfügbar oder dessen Entwicklung nicht vertretbar (bspw. Kostengründe).
- Bekannte analytische Verfahren sind in entscheidenden Punkten zu vereinfachend oder mit nicht zu bewältigendem Aufwand verbunden.
- Die Durchführung realer Experimente ist zu komplex, zu kostspielig, zu zeitaufwendig oder auch zu gefährlich.

Unter Simulation ist das zielgerichtete Experimentieren an Modellen zur Erlangung von Kenntnissen, die von Bedeutung sind, zu verstehen. Ein Simulationsmodell beschreibt die Funktionsweise eines Systems durch getrenntes Abbilden einzelner Komponenten und deren wechselseitigen Abhängigkeiten

(vgl. DOMSCHKE et al. (2015), S. 233). Durch Simulationsläufe werden dann unter Einbeziehung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen Vorhersagen über Zustände der Komponenten und deren Beziehungen im Modell getroffen. D. h. charakteristisch für die Simulation ist unter anderem auch die Durchführung von Experimenten in solchen Modellen. Abbildung 2.2 zeigt den modifizierten Ausschnitt eines Problemlösungsprozesses bei Verwendung von Simulationsmodellen.

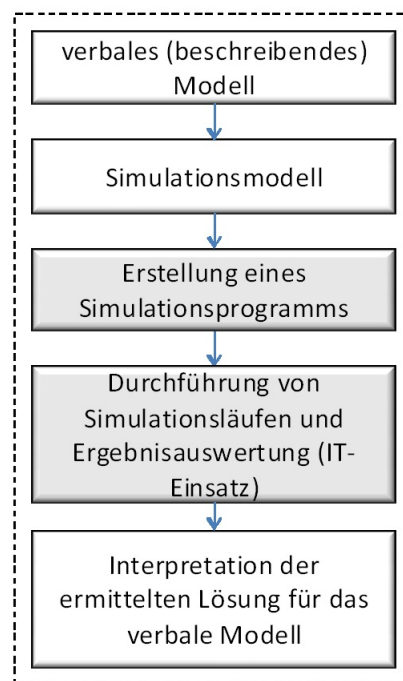


Abbildung 2.2: Simulationsprozess (in Anlehnung an STEINHAUSEN (1994), S. 21 ff.)

In einem vereinfachten Überblick lassen sich drei Grundarten von Simulationen unterscheiden (vgl. DOMSCHKE et al. (2015), S. 234 ff.):

- Monte Carlo-Simulation
Bei dieser werden statische, stochastische Systeme mit Hilfe von Stichprobenexperimenten analysiert.
- Diskrete Simulation
Diese beschäftigt sich mit der Modellierung und Betrachtung dynamischer Systeme unter Verwendung von Zustandsvariablen, die sich zu bestimmten, endlich vielen Zeitpunkten durch das Eintreten von Ereignissen ändern.

- Kontinuierliche Simulation

Hier steht die Modellierung und Betrachtung dynamischer Systeme unter Verwendung von Zustandsvariablen, die sich kontinuierlich im Zeitablauf ändern, im Mittelpunkt.

Neben den bisher aufgezeigten Optimierungsverfahren, Verfahren der vollständigen Enumeration und Simulationen kommen im Operations Research oftmals auch sogenannte Heuristiken zum Einsatz. Da neben der Güte einer Lösung sehr häufig auch die Zeit entscheidend ist, in der diese gefunden wird, werden mit Hilfe von Heuristiken möglichst gute bzw. auch effiziente Lösungen statt der optimalen Lösung in gegebener Zeit ermittelt (vgl. MARTÍ et al. (2018), S. V). Heuristiken können etwa zum Einsatz kommen, falls ein Problem vorliegt, für das kein Optimierungsverfahren existiert.

Die in der Literatur verwendeten Definitionen heuristischer Verfahren sind sehr zahlreich und auch inhaltlich sehr verschieden und werden mitunter mit Näherungsverfahren gleichgesetzt (vgl. MÜLLER-MERBACH (1973), S. 290). Dem Begriff der heuristischen Verfahren nach Streim liegt die Vorstellung zugrunde, dass die heuristischen Verfahren allgemein von einer Lösung des Modells ausgehen und im Verlaufe des Verfahrens den Lösungsraum nach besseren Lösungen absuchen (vgl. STREIM (1975), S. 145 ff.), gemäß der Bedeutung „Finden“ oder „zum Finden geeignet“ des aus dem Griechischen stammenden Wortes „heurískein“ ((vgl. MARTÍ et al. (2018), S. V)).

Vier der wichtigsten Anwendungsgebiete heuristischer Verfahren sind nachfolgend aufgeführt (vgl. MÜLLER-MERBACH (1981), S. 1 und auch ZIMMERMANN (2008), S. 278 f.):

- Probleme, für die keine effizienten konvergierenden Algorithmen existieren.
- Probleme, für die effiziente konvergierende Verfahren existieren und für die Heuristiken zum Einsatz kommen, um den Lösungsprozess zu beschleunigen.
- Heuristische Verfahren als Bestandteile konvergierender Algorithmen.
- Heuristische Verfahren als Ersatz eines konvergierenden Verfahrens, um die Akzeptanz des Lösungsverfahrens durch den Benutzer zu erhöhen.

An gute heuristische Verfahren werden diverse Anforderungen gestellt, die Silver et al. folgendermaßen zusammenfassen (vgl. SILVER et al. (1980), S. 155):

- Die Lösung soll mit realistischem Rechenaufwand gefunden werden können.
- Die Lösung soll im Durchschnitt nahe am Optimum liegen.
- Die Chance einer schlechten Lösung (d. h. weit vom Optimum entfernt) sollte niedrig sein.
- Die Heuristik soll vom Benutzer so einfach wie möglich zu verstehen sein.

Ergänzt werden diese Forderungen häufig um den Anspruch an möglichst geringen benötigten Speicherplatz und eine möglichst breite Anwendbarkeit, ohne dabei jedoch stark an Güte einzubüßen (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 285).

Heuristische Verfahren sind letztendlich dadurch gekennzeichnet, dass durch sie der Aufwand zum Finden einer angemessenen Lösung reduziert werden kann und können somit durch folgende Punkte beschrieben werden (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 273 f.):

- *„Ausschluss potentieller Lösungen“*
Heuristische Verfahren schließen bei ihrer Suche Teile des Lösungsraums aus. In den ausgeschlossenen Räumen kann sich durchaus auch die zu suchende Lösung befinden. Somit ist nicht garantiert, dass eine optimale Lösung, falls existent, auch tatsächlich gefunden wird.
- *„Nicht-willkürliche Suchprozesse“*
Die Suche verläuft nicht beliebig, sondern nach festgelegten heuristischen Regeln.
- *„Fehlende Lösungsgarantie“*
Der Beweis der Konvergenz gegen eine bestimmte Lösung kann bei heuristischen Verfahren nicht erbracht werden.

Neben allgemein anwendbaren und speziellen Heuristiken sind sogenannte Metaheuristiken entwickelt worden, die sich mitunter auch als sehr leistungsfähig erwiesen haben (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 298 und siehe etwa MARTÍ et al. (2018) S. 369 ff.). Damit sind Abläufe gemeint, in die Verfahren oder Heuristiken in Abhängigkeit des Anwendungsproblems integriert werden können (vgl.

ZIMMERMANN (2008), S. 298 oder SÖRENSEN et al. (2018), S. 795). Bekannte Verfahren sind unter anderem „Tabu Search“ (siehe etwa LAGUNA (2018), S. 741 ff.), „Ameisenalgorithmen“ (siehe etwa LÓPEZ-IBÁÑEZ et al. (2018), S. 371 ff.) und „genetische Algorithmen“ (siehe etwa GARCÍA-MARTÍNEZ et al. (2018), S. 431 ff.).

So ist beispielsweise Tabu Search eine Metaheuristik, die von Fred Glover insbesondere zur Lösung kombinatorischer Optimierungsprobleme entwickelt worden ist (siehe GLOVER und LAGUNA (1997)). Aufgrund des integrierten adaptiven „Gedächtnisses“ wird Tabu Search zu den intelligenten Lösungsverfahren gezählt (vgl. LAGUNA (2018), S. 742). Die Anpassungsfähigkeit dieses Verfahrens erlaubt es, andere Verfahren, etwa aus dem Bereich der linearen Programmierung oder spezielle Heuristiken einzubinden (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 298).

2.3 Lernanforderungen der Methoden des Operations Research

Nachdem im vorangegangenen Abschnitt 2.2, S. 14 ff. ein Überblick zu den Methoden des Operations Research gegeben wurde, sollen nun Lernanforderungen dieser Methoden im Mittelpunkt der folgenden Betrachtungen stehen. In Abschnitt 2.3.1, S. 36 ff. wird zunächst der Begriff der Lernvoraussetzungen, gefolgt von einer Klassifikation grundsätzlicher Lernvoraussetzungen vorgestellt. Um diese dann für das Operations Research zu konkretisieren, wird in Abschnitt 2.3.2, S. 39 ff. eine Übersicht über gemeinsame Lernanforderungen der Methoden des Operations Research gegeben, bevor dann in Abschnitt 2.3.3, S. 45 ff. typische Lernanforderungen einzelner ausgewählter OR-Methoden betrachtet werden.

2.3.1 Grundsätzliche Lernvoraussetzungen

Lernvoraussetzungen umfassen alles, was der Lernende an Kenntnissen und Wissen, an Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kompetenzen in einen Lernprozess mitbringt sowie die Bedingungen, die Einfluss auf diesen haben. Sie geben Antwort auf die Frage, was der Lernende etwa zu Beginn eines Kurses oder eines

neuen Themas beherrscht, was er schon gelernt hat und ihm von Nutzen sein kann.

Eine zentrale Aufgabe liegt in der Identifizierung dieser Voraussetzungen, um sie nicht nur in der Planung, sondern auch in einer individuellen Gestaltung des Lehr- und Lernprozesses entsprechend berücksichtigen zu können (vgl. BARTH (2010), S. 77).

In der Literatur sind verschiedene Gliederungen von Lernvoraussetzungen zu finden, die jedoch durch ein hohes Maß an Übereinstimmung gekennzeichnet sind (vgl. BARTH (2010), S. 76). Wild et al. führen neben emotionalen, motivationalen und kognitiven Voraussetzungen auch soziale Voraussetzungen für schulische Lernprozesse auf (vgl. WILD et al. (2006), S. 204 ff.). Auch Pekrun et al. sehen emotionale und motivationale Schülerbedingungen neben Intelligenz und Vorwissen als essenziell für die Leistungsentwicklung an (vgl. PEKRUN et al. (2004), S. 347). Lernvoraussetzungen werden folglich als maßgeblich für den Erfolg eines Lehr-/Lernprozesses betrachtet und können in „individuelle“ und „umfeldbezogene“ Lernvoraussetzungen unterteilt werden.

Die umfeldbezogenen Lernvoraussetzungen beziehen sich auf familiäre, soziale und institutionelle Bedingungen (siehe Tabelle 2.1).

Familiäre	Beziehungsqualität, finanzielle Situation, existenzielle Verantwortung
Soziale, sozio- und interkulturelle	Kultur, Sprache, sozialer Status, erworbene Denkmuster
Institutionelle	Erreichbarkeit des Lernorts, Kinderversorgung, didaktisch-methodische Anschlussfähigkeit

Tabelle 2.1: Umfeldbezogene Lernvoraussetzungen (in Anlehnung an KLEIN und REUTTER (2020))

Zu den individuellen Lernvoraussetzungen ist letztendlich all das zu zählen, was der Lernende an Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten, aber auch an Einstellungen, Motiven und erlerntem Verhalten in eine Lernsituation mitbringt. Diese individuellen Voraussetzungen sollen im weiteren Verlauf im Fokus der Betrachtung stehen.

Mit Blick auf den Hochschulunterricht differenzieren Helmke und Schrader bei den individuellen Lernvoraussetzungen zwischen somatischen (z. B. Geschlecht, Gesundheit), kognitiven (z. B. Intelligenz, Vorwissen, Lernstrategien), motivationalen (z. B. Lernmotivation, Interesse), volitionalen (Handlungskontrolle) und sozialen Merkmalen (z. B. kommunikative Kompetenz) des Lernenden (vgl. HELMKE und SCHRADER (2006), S. 246 ff.). Zudem führen sie „Studierfähigkeit“ und die zurückliegende Bildungsbiographie mit auf.

Zu den meistbeachteten Lern- und Leistungsvoraussetzungen zählt Spinath Intelligenz, Fähigkeitsselbstwahrnehmungen, Lernmotivation und Schulängstlichkeit (vgl. SPINATH (2005), S. 85). Unter den individuellen Lernvoraussetzungen genießen nach Helmke und Schrader die kognitiven Lernvoraussetzungen die höchste Beachtung. Im Fokus steht hierbei neben der Intelligenz auch das bereits vorhandene Vorwissen (vgl. HELMKE und SCHRADER (2008), S. 290 ff.).

Bezüglich der Bedeutung kognitiver, emotionaler und motivationaler Lernvoraussetzungen ist in der Literatur nahezu Übereinstimmung festzustellen (vgl. BARTH (2010), S. 76 nach WINTHER und ACHTENHAGEN (2008)). In Tabelle 2.2 sind individuelle Lernvoraussetzungen aus den genannten Bereichen aufgeführt.

Kognitive	Intelligenz, Kenntnisse, Fertigkeiten, Kompetenzen (Anwenden können von Kenntnissen und Fertigkeiten), Vorwissen, Konzentration, Verstehens- und Merkfähigkeit, Lernstrategien
Emotionale	(Lern-)Leistungsängste, Schüchternheit, Freude, Sicherheitsbewusstsein, Risikofreude, Erfolgshoffnung, Misserfolgsbefürchtung, Denkmuster
Motivationale	Beweggründe für Lernen wie Neugierde, Interesse, Bedarfe und Bedürfnisse, aber auch Einstellungen, Denkmuster und Haltungen

Tabelle 2.2: Individuelle Lernvoraussetzungen (in Anlehnung an KLEIN und REUTER (2020))

In dieser Arbeit erfolgt weitestgehend eine Eingrenzung auf die individuellen Lernvoraussetzungen, die gegenwärtig in der Situation des Lernens einer

Methode des Operations Research vorherrschen und hierfür von besonderem Interesse sind. Auch werden diese als Anforderungen verstanden, die bei entsprechender Erfüllung zu einem erfolgreichen Lernprozess beitragen.

2.3.2 Gemeinsame Lernanforderungen der einzelnen Methodenklassen des Operations Research

Wie etwa in Abschnitt 2.1.2, S. 11 ff. dieser Arbeit beschrieben, ist das Operations Research als ein Fachgebiet zu sehen, dessen Aufgabe die Entwicklung und der Einsatz quantitativer Modelle und Methoden zur Entscheidungsunterstützung darstellt. Besonderes Augenmerk liegt gemäß WERNERS auf der Interdisziplinarität dieses Fachgebiets, da Methoden und Anwendungen aus der Mathematik, den Wirtschaftswissenschaften, der Informatik und diversen Ingenieurwissenschaften mit einfließen (vgl. WERNERS (2013), S. 1). Dabei stehen wirtschaftswissenschaftliche Problemstellungen im Mittelpunkt, für die unter Einsatz geeigneter mathematischer Modelle und Methoden optimale Handlungsvorschläge ermittelt werden sollen (vgl. WERNERS (2013), S. 1).

Relevante Lernvoraussetzungen werden daher speziell für den Bereich der Disziplinen Mathematik und Wirtschaft betrachtet. Um einen Überblick über mathematische Lernvoraussetzungen zu erhalten, wurde auf eine Delphi-Studie mit Hochschullehrenden des Leibniz-Instituts für die Pädagogik der Naturwissenschaft und Mathematik Kiel zurückgegriffen (NEUMANN et al. (2017)), deren Ziel „die Beschreibung der von Hochschulseite als notwendig angesehenen mathematikbezogenen Lernvoraussetzungen für MINT-Studiengänge (im Sinne von Mindestvoraussetzungen)“ (PIGGE et al. (2017), S. 2) war.

In dieser Studie sind 179 mathematische Lernvoraussetzungen identifiziert worden, die den vier übergeordneten Kategorien *Mathematische Inhalte*, *Mathematische Arbeitstätigkeiten*, *Wesen der Mathematik* und *Persönliche Merkmale* zugeordnet wurden (vgl. NEUMANN et al. (2017), S. 242).

Die Kategorie *Mathematische Inhalte* beinhaltet neben den Grundlagen der Mathematik (z. B. Zahlenbereiche, Mengen, Bruchrechnung, Prozentrechnung) den Bereich der Analysis (z. B. Arithmetische und geometrische Folgen, Stetigkeit, Differenzierbarkeit, Differentiations- und Integrationsregeln), die lineare

Algebra (z. B. Vektoren und elementare Operationen mit Vektoren, Matrizen und elementare Matrizenoperationen) und die Stochastik (z. B. Wahrscheinlichkeit und grundlegende Begriffe der deskriptiven Statistik) sowie bereichsübergreifende Inhalte (z. B. übergeordnete Begriffe wie Definition, Aussage, Satz oder Beweis) (vgl. NEUMANN et al. (2017), S. 242).

Der Bereich *mathematische Arbeitstätigkeiten* setzt sich aus elementaren Tätigkeiten (z. B. sicherer Umgang mit Taschenrechner und Computer, sicherer Umgang mit elementarer Formelsprache), mathematischem Argumentieren und Beweisen (z. B. Erkennen von Zusammenhängen in mathematischen Situationen), mathematischem Kommunizieren (z. B. mathematische Sachverhalte verstehen und erklären), mathematischem Definieren (z. B. Erklären mathematischer Begriffe mittels ihrer Definition), Problemlösen (z. B. Lösungen zu mathematischen Problemen verstehen), mathematischem Modellieren (z. B. Beschreibung und Lösung von Situationen mit mathematischen Hilfsmitteln) und Recherche (mathematische Informationen nachschlagen) zusammen (vgl. FIGGE et al. (2017), S. 9 ff.).

Die Kategorie *Wesen der Mathematik* enthält Vorstellungen über die Disziplin der Mathematik etwa in Bezug auf Begriffe, Aussagen, Definitionen, Argumentationen sowie die besondere Stellung des Beweisens in der Mathematik (vgl. NEUMANN et al. (2017), S. 242).

Der Bereich *Persönliche Merkmale* (siehe hierzu auch Tabelle 2.2, S. 38) schließt Einstellungen und Arbeitsweisen (z. B. Offenheit, Motivation, Fleiß, Bereitschaft, Ausdauer), kognitive Fähigkeiten und Kenntnisse (logisches Denken, Vorstellungsvermögen) und soziale Fähigkeiten (z. B. Kommunikationsfreude, Bereitschaft bei Problemen um Hilfe zu bitten (siehe auch Tabelle 2.1 auf Seite 37)) mit ein (vgl. FIGGE et al. (2017), S. 12).

In der genannten Studie ist insbesondere bezüglich der mathematischen Inhalte der Sekundarstufe I und auch mit Blick auf einige persönliche Merkmale, wie etwa Durchhaltevermögen und Frustrationstoleranz, ein hohes Maß an Konsens festzustellen (vgl. NEUMANN et al. (2017), S. 242). Diese können so wohl auch uneingeschränkt für die Methodenlehre des Operations Research als Lernvoraussetzungen betrachtet werden.

Um der Anwendung mathematischer Methoden auf wirtschaftswissenschaftliche Problemstellungen im Operations Research Rechnung zu tragen, wird in der folgenden Auflistung basierend auf der Kategorisierung der Lernvoraussetzungen der genannten Studie eine Übersicht über gemeinsame Lernanforderungen für die Methodenlehre des Operations Research vorgestellt. Diese soll wichtige Lernanforderungen aufzählen, ohne dabei einen Anspruch auf Vollständigkeit zu verfolgen.

A) Mathematischer und wirtschaftswissenschaftlicher Inhalt

A11) Grundlagen der Mathematik und Kenntnisse in Analysis, linearer Algebra, analytischer Geometrie, Stochastik und bereifensübergreifenden Inhalten.

A12) Grundlagen der Wirtschaftswissenschaften und Kenntnisse in Beschaffung und Produktion, Logistik, Controlling, Marketing, Investition und Finanzierung und bereifensübergreifenden Inhalten.

B) Mathematische und ökonomische Arbeitstätigkeiten

B1) Grundlagen (Rechnen, Hilfsmiteileinsatz, Darstellungen)

- * fehlerfreies Durchführen bekannter Verfahren ohne elektronische Hilfsmittel (z. B. Umformungen, Matrizenmultiplikation, Lösen von Gleichungen, (auch mit Kopfrechnen)).
- * Beherrschen des Taschenrechners und Computers zur Lösung von Aufgaben (z. B. einfache Lösungsverfahren, Gleichungssysteme, ...).
- * Sprachliche Fähigkeiten zum Verstehen von Aufgabenstellungen und Texten zur Wirtschaftswissenschaft, z. B. in der Fachliteratur.
- * geübter Umgang mit elementarer mathematischer Formelsprache.
- * Sicherer Umgang mit Standarddarstellungen von Termen/Gleichungen, Funktionen, Diagrammen, Vektoren, Matrizen, Tabellen und geometrischen Objekten.

B2) Mathematisches Argumentieren und Beweisen

- * Verstehen und Analysieren mathematischer Behauptungen und Sätze (was ist Kern der Behauptung bzw. des Satzes und für welche mathematischen Objekte trifft das zu?).
- * Erkennen von Zusammenhängen in gegebenen ökonomischen Sachverhalten (etwa Ziehen von Schlüssen).

B3) Kommunizieren

- * „Schriftliche mathematische Formulierungen (mit Fachsprache und Fachsymbolik“ (PIGGE et al. (2017), S. 10) und ökonomische Sachverhalte sprachlich verstehen.
- * Angemessene und eindeutige Fragen stellen.
- * Mathematische und wirtschaftswissenschaftliche Sachverhalte mündlich darlegen.
- * Zielgerichtet mit Lehrenden und Lernenden über wirtschaftswissenschaftliche Sachverhalte diskutieren.

B4) Definieren

- * Mathematische und ökonomische Definitionen nachvollziehen.
- * Mathematische und ökonomische Begriffe anhand ihrer Definition erklären.
- * Mathematische und ökonomische Definitionen erforderlicher Begriffe adäquat formulieren.

B5) Problemlösen

- * Gegebene ökonomische Probleme verstehen und hinreichend genau beschreiben.
- * Gegebene Lösungen zu ökonomischen Problemen verstehen und interpretieren.
- * „Komplexe Probleme in einfachere äquivalente Probleme umformulieren“ (PIGGE et al. (2017), S. 10).
- * „Notwendigkeit von Fallunterscheidungen erkennen und Fallunterscheidungen vornehmen“ (PIGGE et al. (2017), S. 10).

B6) Mathematisches Modellieren

- * Beschreibung ökonomischer Situationen unter Verwendung mathematischer Instrumente.

- * Lösung ökonomischer Problemsituationen unter Verwendung mathematischer Methoden.
- * „Kontrolle von Ergebnissen einer mathematischen Modellierung im Hinblick auf Stimmigkeit in Realsituationen“ (PIGGE et al. (2017), S. 11).

B7) Recherche

- * Mathematische und wirtschaftswissenschaftliche Informationen in einschlägigen Quellen einholen.

C) Vorstellungen über das Wesen der Mathematik und der Wirtschaftswissenschaften

- * Mathematik dient der Förderung „des präzisen und abstrakten Denkens“ und geht „weit über das schablonenartige Anwenden mathematischer Methoden auf Standardprobleme“ hinaus (PIGGE et al. (2017), S. 11).
- * „Mathematische Ergebnisse werden in Form definierter Begriffe und bewiesener Aussagen in den [Wirtschaftswissenschaften] verwendet, um [ökonomische] Phänomene und Probleme zu modellieren“ (PIGGE et al. (2017), S. 11) und somit händeln zu können.

D) Weitere persönliche Merkmale

D1) Einstellungen und Arbeitsweisen

- * „Interesse, Freude, Motivation und Neugier an/gegenüber der Anwendung von Mathematik“ (PIGGE et al. (2017), S. 12) im ökonomischen Bereich.
- * Bereitschaft mathematische und ökonomische Begriffe, Methoden und Prozesse zu verstehen.
- * Wille, auch komplexe, abstrakte ökonomische Probleme zu lösen.
- * Bereitschaft zum Nachvollziehen und Herleiten neuer Zusammenhänge.
- * „Bereitschaft und Fähigkeit zur selbständigen Arbeit“ (PIGGE et al. (2017), S. 12) und einer ordentlichen und systematischen Arbeitsweise.

- * „Durchhaltevermögen, Ausdauer, Zähigkeit, Frustrationstoleranz und Selbstdisziplin gegenüber mathematikbezogenen [und ökonomischen] Anforderungen“ (PIGGE et al. (2017), S. 12).

D2) Kognitive Fähigkeiten und Kenntnisse

- * Schnelle Auffassungsgabe.
- * Intelligenz (speziell abstraktes und logisches Denken).
- * Konzentrationsfähigkeit (Fähigkeit und Bereitschaft über eine längere Zeit konzentriert zu arbeiten).
- * Kreativität und Vorstellungsvermögen (speziell zur Übertragung von Methoden auf andere Sachverhalte, zu deren Weiterentwicklung und zur Bildung neuer Ideen zur Problemlösung).

D3) Soziale Fähigkeiten

- * Kommunikationsfreudigkeit: Bereitschaft zum Austausch mit Lehrenden und Studierenden über ökonomische Sachverhalte.
- * Bereitschaft bei Problemen nach Hilfe zu fragen und diese in Anspruch zu nehmen.

Auf eine detailliertere Aufschlüsselung des Bereichs A wurde an dieser Stelle verzichtet, da sich die mathematischen Voraussetzungen nicht nur von Methodenklasse zu Methodenklasse, sondern auch von Methode zu Methode unterscheiden können und die wirtschaftswissenschaftlichen Lernvoraussetzungen, je nachdem in welcher Teildisziplin der Anwendungsfall beheimatet ist, variieren. Darauf soll auch im nächsten Unterpunkt 2.3.3, S. 45 ff. eingegangen werden.

Generell werden im Operations Research Probleme aus unterschiedlichen wirtschaftswissenschaftlichen Teilbereichen gelöst (vgl. beispielsweise DOMSCHKE et al. (2015), S. 10 ff.). Gute „Problemlöser“ zeichnen sich dabei durch eine besonders hohe geistige Beweglichkeit aus. Diese kommt durch verschiedene Ausprägungen beim Lösen von Problemen mit mathematischen Mitteln zum Ausdruck (vgl. hierzu LOMPSCHER (1976) 16 f.):

- Reduktion: Der Lernende kann das Problem intuitiv richtig auf den Kern reduzieren. Er kann gut fokussieren.
- Reversibilität: Der Lernende kann Gedankengänge auch in umgekehrter Reihenfolge nachvollziehen. In entsprechenden Situation erfolgt dies automatisch.

- **Aspektbeachtung:** Der Lernende ist in der Lage mehrere Aspekte des Problems gleichzeitig zu berücksichtigen, erkennt Abhängigkeiten von Dingen und kann diese variieren.
- **Aspektwechsel:** Der Lernende wechselt, falls erforderlich, die Annahmen oder Kriterien, um die Lösung ermitteln zu können. Er hat intuitiv verschiedene Aspekte des Problems im Blick, wodurch sich ein „Steckenbleiben“ vermeiden oder überwinden lässt.
- **Transferierung:** Der Lernende ist in der Lage eine bekannte Verfahrensweise auf einen anderen Sachverhalt zu übertragen. Er erkennt den übertragbaren „Kern“.

Aus lerntheoretischer Sicht kann festgehalten werden, dass die Algorithmenlehre des Operations Research zwei zentrale Bestandteile aufweist – einen kognitiven und einen pragmatischen Teil. Im kognitiven Teil geht es darum, Anwendbarkeitskriterien eines Verfahrens, die Verfahrensschritte im Einzelnen sowie im Zusammenhang zu verstehen. Die pragmatischen Aspekte zielen auf die eigene Umsetzung der einzelnen Schritte ab. Es geht darum, einzelne Schritte praktisch und lösungsorientiert selbst durchzuführen, um sich das Rüstzeug für den Umgang mit Algorithmen zu erarbeiten.

2.3.3 Typische Lernanforderungen ausgewählter OR-Methoden im Vergleich

Um typische Lernanforderungen einzelner OR-Methoden betrachten und dann vergleichen zu können, ist in einem ersten Schritt eine Auswahl von Methoden aus verschiedenen Methodenklassen des Operations Research vorgenommen worden. Die Auswahl beschränkt sich dabei auf vier in Praxis und Theorie bekannte und verbreitete Verfahren.

Aus dem Bereich der linearen Optimierung wurde der Simplex-Algorithmus, aus den Verfahren der nichtlinearen Optimierung der Algorithmus von Wolfe, aus den Entscheidungsbaumverfahren das Branch-and-Bound-Verfahren von Dakin und aus den graphentheoretischen Verfahren der Algorithmus von Dijkstra ausgewählt (vgl. Abschnitt 2.2, S. 14 ff.).

In einem zweiten Schritt wurden die Verfahren selbst mit ihren implizit gegebenen Eigenheiten betrachtet und Modulbeschreibungen diverser Hochschulen auf inhaltliche Voraussetzungen hin ausgewertet, die die genannten Verfahren als Lehrinhalt haben. Dabei war zu erkennen, dass in der Mehrzahl der gesichteten Beschreibungen auf gute Kenntnisse der Schulmathematik, grundlegende Veranstaltungen zur Mathematik, Wirtschaftsmathematik und auch Statistik verwiesen wurden, häufig mit Verweisen auf Teilgebiete der linearen Algebra und Stochastik.

Ergänzend dazu sind in den nachfolgenden Listen typische Lernanforderungen aus diesen Bereichen für die ausgewählten Algorithmen aufgeführt, ohne dabei eine Wertung bezüglich der Komplexität der einzelnen Verfahren vorzunehmen.

- Simplex-Verfahren
 - Grundlagen Analysis
 - * Funktionen mit mehreren Variablen
 - Grundlagen lineare Algebra
 - * Vektor- und Matrixalgebra
 - Grundbegriffe (Vektor, Matrix, Dimension)
 - Elementare Operationen (Addition, Multiplikation, transponieren)
 - Inverse einer Matrix
 - Linearkombinationen
 - Lineare Abhängigkeit/Unabhängigkeit
 - Rang einer Matrix
 - Abstrakte algebraische Strukturen wie Vektorraum
 - Analytische Beschreibung bzw. Darstellung von Punkt, Gerade und Ebene in Ebene und Raum
 - * Lineare Gleichungs- und Ungleichungssysteme
 - Existenz von Lösungen
 - Eindeutigkeit
 - Lösungsverfahren

- Algorithmus von Wolfe
 - Grundlagen Analysis
 - * Funktionen mit mehreren Variablen
 - Differentiations- und Integrationsregeln
 - Partielle Ableitungen
 - Richtungsableitungen
 - Gradient
 - Grundlagen lineare Algebra
 - * Vektor- und Matrixalgebra
 - Grundbegriffe (Vektor, Matrix, Dimension)
 - Elementare Operationen (Addition, Multiplikation, transponieren)
 - Inverse einer Matrix
 - Abstrakte algebraische Strukturen wie Vektorraum
 - Analytische Beschreibung bzw. Darstellung von Punkt, Gerade und Ebene in Ebene und Raum
 - * Nichtlineare Gleichungs- und Ungleichungssysteme
 - Existenz von Lösungen
 - Eindeutigkeit
 - Lösungsverfahren
 - Simplex-Methode
- Branch-and-Bound-Verfahren von Dakin
 - Grundlagen Analysis
 - * Funktionen mit mehreren Variablen
 - Grundlagen linearer Algebra
 - * Vektor- und Matrixalgebra
 - Grundbegriffe (Vektor, Matrix, Dimension)
 - Elementare Operationen (Addition, Multiplikation, Transponieren)
 - Inverse einer Matrix

- Linearkombinationen
- Lineare Abhängigkeit/Unabhängigkeit
- Rang einer Matrix
- Abstrakte algebraische Strukturen wie Vektorraum
- Analytische Beschreibung bzw. Darstellung von Punkt, Gerade und Ebene in Ebene und Raum
- * Lineare Gleichungs- und Ungleichungssysteme
 - Existenz von Lösungen
 - Eindeutigkeit
 - Lösungsverfahren
- Abzählende Kombinatorik (Permutationen, Variationen, Kombinationen)
- Grundlagen der Graphentheorie
 - * Grundbegriffe:
 - Knoten, Kanten
 - * Baum, Graph
 - * Weg, Pfad
- Simplex-Methode
- Algorithmus von Dijkstra
 - Grundlagen der Graphentheorie
 - * Grundbegriffe:
 - Knoten, Kanten, Pfeile
 - Eigenschaften (inzident (negativ/positiv), gerichtet/ungerichtet)
 - Vorgänger, Nachfolger, Nachbarn
 - * Baum, Graph, Digraph, Netzwerk
 - * Weg, Pfad, Zyklus
 - Grundlagen lineare Algebra
 - * Grundbegriffe (Vektor, Matrix, Dimension)
 - * Adjazenzmatrix
 - * Bewertungsmatrix
 - * Entfernungsmatrix

Wie aus dieser kleinen Auswahl von Algorithmen aus verschiedenen Methodenklassen erkennbar ist, lassen sich mathematische Lernvoraussetzungen sehr klar umreißen. Dabei ist allerdings auch schon ersichtlich, dass die ein oder andere Methode die Kenntnis einer oder manchmal auch mehrerer anderer Verfahren voraussetzt.

Nicht so einfach ist dabei die Betrachtung der Lernvoraussetzungen aus dem wirtschaftswissenschaftlichen Bereich. Diese werden in den gesichteten Modulbeschreibungen üblicherweise auch nicht angegeben. Das lässt sich damit begründen, dass diese besonderen Vorkenntnisse für das Erlernen des „reinen“ Lösungsverfahrens nicht zwingend erforderlich sind, wohl aber für dessen Anwendung und die damit in der Praxis sehr relevante Interpretation der gewonnenen Ergebnisse. Dabei verhält es sich so, dass ein bestimmtes Verfahren sehr häufig auf Problemstellungen unterschiedlicher wirtschaftswissenschaftlicher Teildisziplinen Anwendung finden kann. So findet der Simplex-Algorithmus beispielsweise Anwendungsfälle in der Produktionsprogrammplanung, der Investitions- und Finanzprogrammplanung, der Marketing-Mix-Planung, der Diagnosis-Related-Group (DRG)-Planung und vielen anderen mehr.

Grundsätzlich kann mit Blick auf die wirtschaftswissenschaftlichen Lernvoraussetzungen jedoch auf die Grundbegriffe der Betriebs- und Volkswirtschaftslehre verwiesen werden. Als zentrale Begriffe können hier beispielsweise genannt werden:

- Gewinn, Verlust, Deckungsbeitrag
- Erlös, Grenzerlös, Kosten, Grenzkosten
- Aufwand, Ertrag
- Opportunitätskosten
- Angebot, Nachfrage, Gleichgewicht
- Finanzierung, Investition, Marketing, Produktion
- Programmplanung
- ...

2.4 Exemplarische Analyse der Lernanforderungen für die IP-Methoden der linearen Optimierung

Nach der Betrachtung allgemeiner und einiger typischer, d. h. auf eine Methodenklasse oder speziell auf einen Algorithmus zutreffender Lernanforderungen der Methodenlehre des OR wird nun die grundlegende Vorgehensweise des Innere-Punkt-Verfahrens von Dikin¹, gefolgt von einem elementaren Beispiel vorgestellt. Im Anschluss daran werden Lernanforderungen der Innere-Punkt-Methoden betrachtet.

2.4.1 Die grundlegende Innere-Punkt-Methode von Dikin

Als Basis zur Herleitung und Beschreibung des Verfahrens dient das Optimierungsproblem des linearen Programms in der hier dargestellten Standardform

$$\begin{aligned} F(\mathbf{x}) &= \mathbf{c}^T \mathbf{x} \rightarrow \max \\ \text{u. d. N. } \mathbf{A}\mathbf{x} &= \mathbf{b} \\ \mathbf{x} &\geq \mathbf{0} \end{aligned}$$

mit der Koeffizientenmatrix $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{m \times n}$, dem Begrenzungsvektor $\mathbf{b} \in \mathbb{R}^m$, dem Vektor der Zielfunktionskoeffizienten $\mathbf{c} \in \mathbb{R}^n$ und dem Variablenvektor $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$. Durch Einführung sogenannter Schlupfvariablen sind die Nebenbedingungen in Ungleichungsform auf Gleichungsform umgestellt worden.

Ein innerer Punkt \mathbf{x} wird von sämtlichen Restriktionen eines zulässigen Bereiches eingeschlossen. Ein solcher Punkt liegt vor, falls

$$\mathbf{x} \in \mathbf{X} = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n \mid \mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{b} \wedge \mathbf{x} \geq \mathbf{0}\}$$

mit $\mathbf{x} > \mathbf{0}$.

¹Die Beschreibung des Verfahrens erfolgt hier in Anlehnung an KOOP und MOOCK (2008), S. 99-104.

Vorauszusetzen ist, dass ein solcher innerer Punkt $\mathbf{x}^{(0)}$ als Startpunkt bekannt ist² und der betrachtete zulässige Bereich \mathbf{X} nichtleer ist. Beginnend mit diesem Startpunkt $\mathbf{x}^{(0)}$ ist nun das Ziel eine Folge innerer Punkte $\mathbf{x}^{(i)}$, $i \in \mathbb{N}$, zu erzeugen, die gegen eine optimale Lösung \mathbf{x}^* des betrachteten linearen Programms konvergiert. Abbildung 2.3 veranschaulicht die Vorgehensweise Innerer-Punkt-Verfahren.

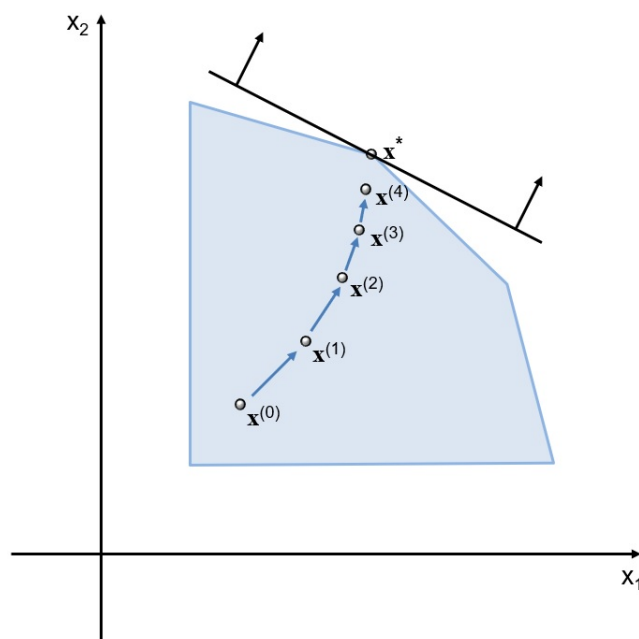


Abbildung 2.3: Vorgehensweise Innerer-Punkt-Verfahren

Dabei wird jeweils ausgehend von einem Punkt $\mathbf{x}^{(i)}$ der nachfolgende Punkt $\mathbf{x}^{(i+1)}$ durch

$$\mathbf{x}^{(i+1)} = \mathbf{x}^{(i)} + \alpha \mathbf{r}$$

ermittelt. Der Vektor $\mathbf{r} \in \mathbb{R}^n$ ist als Richtung zu sehen, in die man sich ausgehend vom aktuellen Punkt zur Annäherung an die Lösung bewegt, und $\alpha \in \mathbb{R}$, $\alpha > 0$ als Schrittweite, die man auf die Lösung zumacht.

²Zum Finden eines zulässigen inneren Punktes sei hier etwa verwiesen auf KOOP und MOOCK (2008), S. 107 ff.

Analog zum Gradientenverfahren könnte man sich beim hier dargestellten Maximierungsproblem in Richtung des steilsten Anstiegs bewegen, so dass

$$\mathbf{r} = \nabla F(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} F_{x_1}(\mathbf{x}) \\ F_{x_2}(\mathbf{x}) \\ \vdots \\ F_{x_n}(\mathbf{x}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} = \mathbf{c}.$$

Die Richtung entspricht dem Gradienten der Funktion F an der Stelle \mathbf{x} und ist hier aufgrund der linearen Zielfunktion F gleich dem Vektor der Zielfunktionskoeffizienten \mathbf{c} . Für den Zielfunktionswert an der neuen Stelle $\mathbf{x}^{(i+1)}$ ist nun

$$F(\mathbf{x}^{(i+1)}) = \mathbf{c}^T \mathbf{x}^{(i+1)} = \mathbf{c}^T (\mathbf{x}^{(i)} + \alpha \mathbf{r}) = \mathbf{c}^T \mathbf{x}^{(i)} + \alpha \mathbf{c}^T \mathbf{r} = \mathbf{c}^T \mathbf{x}^{(i)} + \alpha \mathbf{c}^T \mathbf{c}.$$

Da das Skalarprodukt des Vektors der Zielfunktionskoeffizienten mit sich selbst ($\mathbf{c}^T \mathbf{c}$) für den Fall, dass der Vektor \mathbf{c} vom Nullvektor verschieden ist, stets größer null ist, also $\mathbf{c}^T \mathbf{c} > 0$, folgt somit:

$$F(\mathbf{x}^{(i+1)}) = \mathbf{c}^T \mathbf{x}^{(i)} + \alpha \mathbf{c}^T \mathbf{c} > \mathbf{c}^T \mathbf{x}^{(i)} = F(\mathbf{x}^{(i)}).$$

Der Zielfunktionswert nimmt also bei einer Bewegung in Richtung des Vektors \mathbf{c} zu. Allerdings ist dadurch nicht gewährleistet, dass der neue Punkt $\mathbf{x}^{(i+1)}$ die Nebenbedingungen $\mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{b}$ erfüllt. Dies kann jedoch damit erreicht werden, dass eine modifizierte Richtung \mathbf{r}' mit $\mathbf{A}\mathbf{r}' = \mathbf{0}$ gewählt wird, so dass

$$\mathbf{A}\mathbf{x}^{(i+1)} = \mathbf{A}(\mathbf{x}^{(i)} + \alpha \mathbf{r}') = \mathbf{A}\mathbf{x}^{(i)} + \alpha \mathbf{A}\mathbf{r}' = \mathbf{b}$$

und deshalb

$$\mathbf{A}\mathbf{x}^{(i+1)} = \mathbf{A}\mathbf{x}^{(i)} = \mathbf{b}.$$

Die Richtung \mathbf{r}' erhält man dadurch, dass man die Projektion von \mathbf{r} auf $\mathcal{N}(\mathbf{A})$, den Nullraum von \mathbf{A} , also den Lösungsraum des Gleichungssystems $\mathbf{A}\mathbf{v} = \mathbf{0}$ berechnet. Die Vektoren $\mathbf{v} \in \mathcal{N}(\mathbf{A})$ sind dabei orthogonal zu jeder Zeile der Matrix \mathbf{A} .

Wenn nun mit $\mathcal{R}(\mathbf{A}^T) := \{\mathbf{q} \in \mathbb{R}^n \mid \mathbf{q} = \mathbf{A}^T \boldsymbol{\lambda}, \boldsymbol{\lambda} \in \mathbb{R}^m\}$ der Bildraum von \mathbf{A}^T gegeben ist, so sind $\mathcal{N}(\mathbf{A}) \subset \mathbb{R}^n$ und $\mathcal{R}(\mathbf{A}^T) \subset \mathbb{R}^n$ orthogonale Unterräume und es gibt eine eindeutige Darstellung von \mathbf{r} als Summe von $\mathbf{r}' \in \mathcal{N}(\mathbf{A})$ und $\mathbf{q} \in \mathcal{R}(\mathbf{A}^T)$, so dass $\mathbf{r} = \mathbf{r}' + \mathbf{q}$.

Mit $\mathbf{q} = \mathbf{A}^T \boldsymbol{\lambda}$ erhält man

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}' + \mathbf{A}^T \boldsymbol{\lambda}.$$

Die Multiplikation mit der Koeffizientenmatrix \mathbf{A} führt zu

$$\mathbf{A}\mathbf{r} = \mathbf{A}\mathbf{r}' + \mathbf{A}\mathbf{A}^T \boldsymbol{\lambda}.$$

Ist nun der Rang der Matrix \mathbf{A} gleich ihrer Zeilenanzahl m ($\text{rg}(\mathbf{A}) = m$), so ist $\mathbf{A}\mathbf{A}^T$ nicht singulär und kann invertiert werden. Mit $\mathbf{A}\mathbf{r}' = \mathbf{0}$ lässt sich die Gleichung durch die Multiplikation mit $(\mathbf{A}\mathbf{A}^T)^{-1}$ von links nach $\boldsymbol{\lambda}$ auflösen:

$$(\mathbf{A}\mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{A}\mathbf{r} = \boldsymbol{\lambda}.$$

In der Ausgangsgleichung $\mathbf{r} = \mathbf{r}' + \mathbf{A}^T \boldsymbol{\lambda}$ lässt sich $\boldsymbol{\lambda}$ jetzt entsprechend ersetzen durch $(\mathbf{A}\mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{A}\mathbf{r}$, so dass

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}' + \mathbf{A}^T (\mathbf{A}\mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{A}\mathbf{r}.$$

Aufgelöst nach der \mathbf{r}' erhält man nun

$$\mathbf{r} - \mathbf{A}^T (\mathbf{A}\mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{A}\mathbf{r} = \mathbf{r}',$$

wobei das Ausklammern von \mathbf{r} auf der linken Seite der Gleichung zu

$$(\mathbf{E} - \mathbf{A}^T (\mathbf{A}\mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{A}) \mathbf{r} = \mathbf{r}'$$

führt.

Mit der Einheitsmatrix \mathbf{E} der Dimension $n \times n$ wird $(\mathbf{E} - \mathbf{A}^T (\mathbf{A}\mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{A})$ als orthogonale Projektionsmatrix $\mathbf{P} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ bezeichnet, die verwendet wird, um die Richtung \mathbf{r}' über

$$\mathbf{r}' = \mathbf{P}\mathbf{r}$$

zu berechnen.

Damit das neue Folgeglied $\mathbf{x}^{(i+1)}$ nun wieder ein innerer Punkt ist, d. h. $\mathbf{x}^{(i+1)} > \mathbf{0}$, muss $\alpha > 0$ hinreichend klein gewählt werden. Dazu sind die Komponenten von $\mathbf{r}' = (r'_1, r'_2, \dots, r'_n)$ zu betrachten. Für diese muss gewährleistet sein, dass

$$x_j^{(i+1)} = x_j^{(i)} + \alpha r'_j > 0 \quad (\text{für alle } j).$$

Die Komponenten $r'_j \geq 0$ erfüllen diese Bedingung stets. Für die $r'_j < 0$ muss über den Zwischenschritt $\alpha r'_j > -x_j^{(i)}$ folglich $\alpha < -\frac{x_j^{(i)}}{r'_j}$ gelten. Demnach kann α beispielsweise gewählt werden mit

$$\alpha = -\beta \max_{(j|r'_j < 0)} \frac{x_j^{(i)}}{r'_j},$$

wobei $0 < \beta < 1$.

Das Verfahren kann beendet werden, wenn der Abstand zwischen $\mathbf{x}^{(i+1)}$ und $\mathbf{x}^{(i)}$ hinreichend klein, also

$$\|\mathbf{x}^{(i+1)} - \mathbf{x}^{(i)}\| < \varepsilon$$

für einen vorab festgelegten Wert $\varepsilon > 0$ ist. Eine gängige Vorgehensweise neben diesem Abbruchkriterium ist auch, das Verfahren nach einer vorgegebenen Anzahl N von Iterationen zu beenden.

Zwei Aspekte sind an der bisher beschriebenen Vorgehensweise zu nennen, die der praktischen Anwendung entgegenstehen. Zum einen ist es notwendig die Schrittweiten in Iterationen sehr klein zu wählen, wenn man sich nahe am Rand des Polyeders befindet. Zum anderen ist es der Zielerreichung zweckmäßig, die Laufrichtung in jeder Iteration neu zu wählen. Diese Hürden können durch die nun betrachtete Skalierung genommen werden.

Hierbei wird in jedem Schritt der Vektor $\mathbf{x}^{(i)}$ auf den Vektor $\mathbf{e}^T = (1, \dots, 1)$ abgebildet. Dadurch ist in den neuen Koordinaten der Abstand jeder Komponente zum Rand gleich groß.

Für einen Punkt $\mathbf{x}^{(i)}$ mit $\mathbf{A}\mathbf{x}^{(i)} = \mathbf{b}$ und $\mathbf{x}^{(i)} > \mathbf{0}$ wird dazu die Diagonalmatrix

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} x_1^{(i)} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & x_2^{(i)} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & x_n^{(i)} \end{pmatrix} = \text{diag}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}) \in \mathbb{R}^{n \times n}$$

definiert und deren Inverse mit $\mathbf{x}^{(i)}$ multipliziert. Dadurch ergibt sich

$$\hat{\mathbf{x}}^{(i)} = \mathbf{D}^{-1}\mathbf{x}^{(i)} = \begin{pmatrix} 1/x_1^{(i)} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1/x_2^{(i)} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1/x_n^{(i)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1^{(i)} \\ x_2^{(i)} \\ \vdots \\ x_n^{(i)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{e}.$$

Im zugrunde liegenden linearen Programm wird nun der Vektor \mathbf{x} durch $\hat{\mathbf{x}}$ ersetzt. Zusätzlich wird der Vektor der Zielfunktionskoeffizienten $\hat{\mathbf{c}} = \mathbf{D}\mathbf{c}$ und die Koeffizientenmatrix $\hat{\mathbf{A}} = \mathbf{A}\mathbf{D}$ verwendet, so dass das lineare Programm ausgehend von der Standardform

$$\begin{aligned} F(\mathbf{x}) &= \mathbf{c}^T \mathbf{x} \rightarrow \max \\ \text{u. d. N. } \mathbf{A}\mathbf{x} &= \mathbf{b} \\ \mathbf{x} &\geq \mathbf{0} \end{aligned}$$

über

$$\begin{aligned} F(\mathbf{x}) &= (\mathbf{D}\mathbf{c})^T \mathbf{D}^{-1}\mathbf{x} \rightarrow \max \\ \text{u. d. N. } \mathbf{A}\mathbf{D}\mathbf{D}^{-1}\mathbf{x} &= \mathbf{b} \\ \mathbf{D}^{-1}\mathbf{x} &\geq \mathbf{0} \end{aligned}$$

folgende Form annimmt:

$$\begin{aligned}
 F(\hat{\mathbf{x}}) &= \hat{\mathbf{c}}^T \hat{\mathbf{x}} \rightarrow \max \\
 \text{u. d. N. } \hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{x}} &= \mathbf{b} \\
 \hat{\mathbf{x}} &\geq \mathbf{0}.
 \end{aligned}$$

Mit der betrachteten Herleitung des Verfahrens und der aus beschriebenen Gründen notwendigen Skalierung lässt sich der Algorithmus nun vollständig beschreiben. Benötigt wird ein zulässiger Startpunkt $\mathbf{x}^{(0)} > \mathbf{0}$ auf dessen Grundlage in **Schritt 1** die Diagonalmatrix $\mathbf{D} = \text{diag}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)})$ erstellt und mit deren Hilfe dann $\hat{\mathbf{A}} = \mathbf{A}\mathbf{D}$ und $\hat{\mathbf{c}} = \mathbf{D}\mathbf{c}$ berechnet werden, um das betrachtete Problem in die skalierte Form zu überführen.

Nun wird der Gradient der Zielfunktion $\mathbf{r} = \hat{\mathbf{c}}$ verwendet, um durch die ermittelte Projektionsmatrix (**Schritt 2**)

$$\hat{\mathbf{P}} = \mathbf{E} - \hat{\mathbf{A}}^T(\hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{A}}^T)^{-1}\hat{\mathbf{A}}$$

in **Schritt 3** die Richtung $\mathbf{r}' = \hat{\mathbf{P}}\hat{\mathbf{c}}$ zu erhalten, in der die Suche nach dem nächsten Folgeglied erfolgt. Im Anschluss daran ist in **Schritt 4** die Schrittweite

$$\alpha = -\beta \max_j \frac{1}{r'_j} = \frac{-\beta}{\min_j r'_j}$$

mit $0 < \beta < 1$ zu berechnen, die festlegt, wie weit in die gerade ermittelte Richtung zu gehen ist. Die Wahl von β beruht auf Erfahrung und erfolgt üblicherweise im Bereich zwischen 0,5 und 0,95. Sollte $\alpha \leq 0$ sein (das wäre genau dann der Fall, wenn alle Komponenten $r'_j \geq 0$ wären), dann wäre das Verfahren abzubrechen. In der betrachteten Problemstellung wäre die Zielfunktion nach oben unbeschränkt, da sie im zulässigen Bereich beliebig wachsen kann (siehe etwa Abbildung 2.4). Somit ist die Existenz einer optimalen Lösung nicht gegeben.

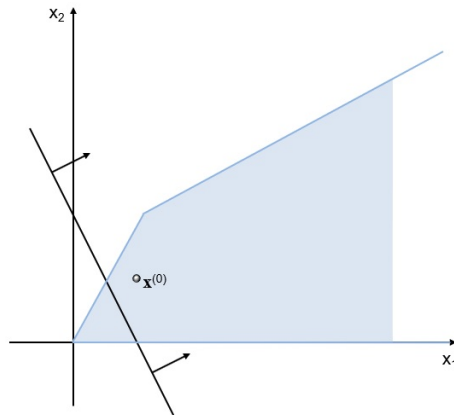


Abbildung 2.4: unbeschränkte Zielfunktion

Für einen ermittelten Wert $\alpha > 0$ und der berechneten Richtung wird in **Schritt 5** das neue Folgeglied durch

$$\hat{\mathbf{x}}^{(i+1)} = \mathbf{e} + \alpha \mathbf{r}'$$

bestimmt. Dieses liegt allerdings noch in den transformierten Koordinaten und ist deshalb in **Schritt 6** durch

$$\mathbf{x}^{(i+1)} = \mathbf{D}\hat{\mathbf{x}}^{(i+1)}$$

in die ursprünglichen Koordinaten zurückzusetzen.

Sollte der Abstand zwischen $\mathbf{x}^{(i+1)}$ und $\mathbf{x}^{(i)}$ kleiner als eine vorab festgelegte Zahl $\varepsilon > 0$ sein, dann wird das Verfahren mit $\mathbf{x}^{(i+1)}$ als optimaler Lösung beendet. Ist dies (noch) nicht der Fall, beginnt das Verfahren ausgehend von Punkt $\mathbf{x}^{(i+1)}$ erneut.

Häufig wird zudem vorab eine maximale Anzahl an Iterationen N festgelegt. Deren Überschreitung führt zum Abbruch des Verfahrens mit dem Ergebnis $\mathbf{x}^{(i+1)}$ als bester ermittelter Lösung.

In kurzer Form kann der beschriebene Algorithmus damit wie folgt dargestellt werden:

Algorithmus 2.1 Verfahren von Dikin

Voraussetzung: Startpunkt $\mathbf{x}^{(0)} > \mathbf{0}$ mit $\mathbf{Ax}^{(0)} = \mathbf{b}$ und $\text{rg}(\mathbf{A}) = m$,
setze $i = 0$, wähle $0 < \beta < 1$, $\varepsilon > 0$ und N

Wiederhole

Schritt 1 (Skalierung):

Berechne $\mathbf{D} = \text{diag}(x_1^{(i)}, \dots, x_n^{(i)})$, $\hat{\mathbf{A}} = \mathbf{AD}$ und $\hat{\mathbf{c}} = \mathbf{Dc}$

Schritt 2 (Projektionsmatrix):

Ermittle $\hat{\mathbf{P}} = \mathbf{E} - \hat{\mathbf{A}}^T(\hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{A}}^T)^{-1}\hat{\mathbf{A}}$

Schritt 3 (Richtung):

Bestimme $\mathbf{r}' = \hat{\mathbf{P}}\hat{\mathbf{c}}$

Schritt 4 (Schrittweite):

Setze $\alpha = \frac{-\beta}{\min_j r'_j}$

Wenn $\alpha \leq 0$ dann

Zielfunktion ist unbeschränkt \rightarrow ENDE

Ende Wenn

Schritt 5 (Folglied):

Berechne $\hat{\mathbf{x}}^{(i+1)} = \mathbf{e} + \alpha\mathbf{r}'$

Schritt 6 (Reskalierung):

Transformiere zurück durch $\mathbf{x}^{(k+1)} = \mathbf{D}\hat{\mathbf{x}}^{(i+1)}$

Wenn $\|\mathbf{x}^{(i+1)} - \mathbf{x}^{(i)}\| < \varepsilon$ dann

Lösung ausgeben! \rightarrow ENDE

Ende Wenn

$i = i + 1$

Bis $i > N$

Weitere Varianten sowie ein Beweis für die Konvergenz des hier beschriebenen Verfahrens finden sich etwa in DANTZIG und THAPA (2003), S. 84 ff. (vgl. KOOP und MOOCK (2008), S. 106). Ein Konvergenzbeweis stammt auch von Dikin selbst (siehe DIKIN (1974)).

2.4.2 Betrachtung eines elementaren Beispiels

Das hier vorgestellte Beispiel soll die Vorgehensweise des Verfahrens von Dikin veranschaulichen. In Abschnitt 4.3, S. 143 ff. und in Abschnitt 5.3, S. 176 ff. dieser Arbeit wird dann auf dieses Beispiel zurückgegriffen.

Betrachtet wird das spezielle Maximumproblem

$$\begin{aligned} F(x_1, x_2) &= 2x_1 + 1x_2 \rightarrow \max \\ \text{u. d. N.} \quad x_1 &\leq 3 \\ x_1 + x_2 &\leq 4 \\ x_1, x_2 &\geq 0. \end{aligned}$$

Überführt in die Standardform erhält man

$$\begin{aligned} F(x_1, x_2, x_3, x_4) &= 2x_1 + 1x_2 + 0x_3 + 0x_4 \rightarrow \max \\ \text{u. d. N.} \quad x_1 + x_3 &= 3 \\ x_1 + x_2 + x_4 &= 4 \\ x_1, x_2, x_3, x_4 &\geq 0. \end{aligned}$$

Die Koeffizientenmatrix \mathbf{A} , der Begrenzungsvektor \mathbf{b} und der Vektor der Zielfunktionskoeffizienten \mathbf{c} nehmen dabei folgende Gestalt an:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{c} = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Mit einem gegebenen inneren Punkt (siehe Abbildung 2.5)

$$\mathbf{x}^{(0)} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \end{pmatrix}$$

als Startwert des Verfahrens, für den

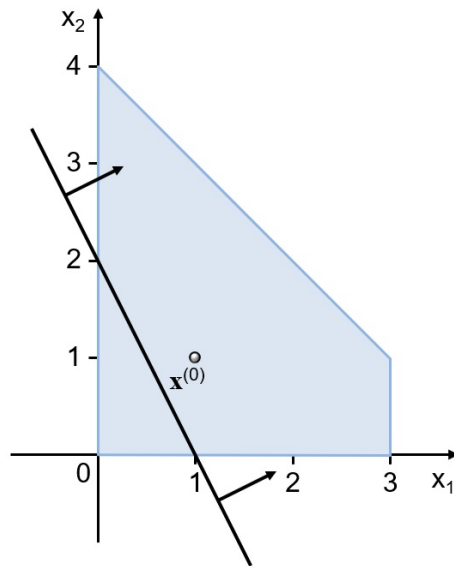


Abbildung 2.5: Zulässiger Bereich, Zielfunktion und Startpunkt des Beispiels

$$\mathbf{Ax}^{(0)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \end{pmatrix} = \mathbf{b}$$

und $\mathbf{x}^{(0)} > \mathbf{0}$ gilt und der einen Zielfunktionswert $F(1, 1, 2, 2) = 3$ besitzt, bestimmt man zu Beginn der ersten Iteration in **Schritt 1** zunächst die Diagonalmatrix

$$\mathbf{D} = \text{diag}(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, x_3^{(0)}, x_4^{(0)}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{pmatrix},$$

die dazu verwendet wird, um das betrachtete Problem durch

$$\hat{\mathbf{A}} = \mathbf{AD} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 2 \end{pmatrix},$$

$$\hat{\mathbf{c}} = \mathbf{D}\mathbf{c} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

und das Ersetzen von $\mathbf{x}^{(0)}$ durch $\hat{\mathbf{x}}^{(0)}$ mit

$$\hat{\mathbf{x}}^{(0)} = \mathbf{D}^{-1}\mathbf{x}^{(0)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{e}$$

in die skalierte Form zu überführen:

$$\begin{aligned} F(\hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3, \hat{x}_4) &= 2\hat{x}_1 + 1\hat{x}_2 + 0\hat{x}_3 + 0\hat{x}_4 \rightarrow \max \\ \text{u. d. N.} \quad \hat{x}_1 + 2\hat{x}_3 &= 3 \\ \hat{x}_1 + \hat{x}_2 + 2\hat{x}_4 &= 4 \\ \hat{x}_1, \hat{x}_2, \hat{x}_3, \hat{x}_4 &\geq 0. \end{aligned}$$

Diese Skalierung hat zum Zweck, dass der aktuelle Punkt $\mathbf{x}^{(0)}$ auf den Einsektor \mathbf{e} abgebildet wird. Dadurch ist in den neuen Koordinaten der Abstand jeder Komponente zum Rand gleich groß. Da im Startpunkt $\mathbf{x}^{(0)}$ die Variablen $x_1^{(0)} = 1$ und $x_2^{(0)} = 1$ sind, ist diese Zentrierung in den Abbildungen 2.6 und 2.7 noch nicht ersichtlich.

$$\text{Für } \hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{A}}^T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 & 1 \\ 1 & 6 \end{pmatrix}$$

ermittelt man die Inverse $(\hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{A}}^T)^{-1}$ beispielsweise über

$$\frac{1}{|\hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{A}}^T|} \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{A}}_{22}^T & -\hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{A}}_{12}^T \\ -\hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{A}}_{21}^T & \hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{A}}_{11}^T \end{pmatrix} = \frac{1}{29} \begin{pmatrix} 6 & -1 \\ -1 & 5 \end{pmatrix},$$

die in **Schritt 2** zur Berechnung der Projektionsmatrix $\hat{\mathbf{P}} = \mathbf{E} - \hat{\mathbf{A}}^T(\hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{A}}^T)^{-1}\hat{\mathbf{A}}$ benötigt wird.

Dazu wird die Inverse $(\hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{A}}^T)^{-1}$ zunächst mit $\hat{\mathbf{A}}$ multipliziert

$$\frac{1}{29} \begin{pmatrix} 6 & -1 \\ -1 & 5 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} = \frac{1}{29} \begin{pmatrix} 5 & -1 & 12 & -2 \\ 4 & 5 & -2 & 10 \end{pmatrix},$$

bevor die Multiplikation der so ermittelten Matrix $(\hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{A}}^T)^{-1}\hat{\mathbf{A}}$ mit $\hat{\mathbf{A}}^T$ von links erfolgt:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{29} \begin{pmatrix} 5 & -1 & 12 & -2 \\ 4 & 5 & -2 & 10 \end{pmatrix} = \frac{1}{29} \begin{pmatrix} 9 & 4 & 10 & 8 \\ 4 & 5 & -2 & 10 \\ 10 & -2 & 24 & -4 \\ 8 & 10 & -4 & 20 \end{pmatrix}.$$

Die resultierende Matrix $\hat{\mathbf{A}}^T(\hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{A}}^T)^{-1}\hat{\mathbf{A}}$ wird nun von der Einheitsmatrix \mathbf{E} der Dimension 4×4 subtrahiert, um die Projektionsmatrix zu erhalten:

$$\hat{\mathbf{P}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} - \frac{1}{29} \begin{pmatrix} 9 & 4 & 10 & 8 \\ 4 & 5 & -2 & 10 \\ 10 & -2 & 24 & -4 \\ 8 & 10 & -4 & 20 \end{pmatrix} = \frac{1}{29} \begin{pmatrix} 20 & -4 & -10 & -8 \\ -4 & 24 & 2 & -10 \\ -10 & 2 & 5 & 4 \\ -8 & -10 & 4 & 9 \end{pmatrix}.$$

Diese Projektion wird nun in **Schritt 3** auf den Gradienten der Zielfunktion

$$\nabla F(\hat{\mathbf{x}}) = \begin{pmatrix} F_{\hat{x}_1}(\hat{\mathbf{x}}) \\ F_{\hat{x}_2}(\hat{\mathbf{x}}) \\ F_{\hat{x}_3}(\hat{\mathbf{x}}) \\ F_{\hat{x}_4}(\hat{\mathbf{x}}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \hat{\mathbf{c}}$$

angewendet, um somit durch

$$\mathbf{r}' = \hat{\mathbf{P}}\hat{\mathbf{c}} = \frac{1}{29} \begin{pmatrix} 20 & -4 & -10 & -8 \\ -4 & 24 & 2 & -10 \\ -10 & 2 & 5 & 4 \\ -8 & -10 & 4 & 9 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{29} \begin{pmatrix} 36 \\ 16 \\ -18 \\ -26 \end{pmatrix}$$

die Richtung zu bestimmen, die auf dem Weg zum nächsten Folgeglied eingeschlagen wird (siehe Abbildung 2.6). Die Richtung \mathbf{r}' ist mit

$$\hat{\mathbf{A}}\mathbf{r}' = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{29} \begin{pmatrix} 36 \\ 16 \\ -18 \\ -26 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

so gewählt, dass die Nebenbedingungen erfüllt sind.

Das neue Folgeglied $\hat{\mathbf{x}}^{(1)}$ wird dadurch bestimmt, dass zum Einsvektor \mathbf{e} (auf den zu Beginn der Punkt $\mathbf{x}^{(0)}$ abgebildet wurde) die in **Schritt 4** zu ermittelnde Schrittweite α multipliziert mit der berechneten Richtung \mathbf{r}' addiert wird, so dass

$$\hat{\mathbf{x}}^{(1)} = \mathbf{e} + \alpha\mathbf{r}'.$$

Um sicherzustellen, dass das neue Folgeglied wieder ein innerer Punkt $\hat{\mathbf{x}}^{(1)} > \mathbf{0}$ ist, muss $\alpha > 0$ entsprechend klein gewählt werden. Relevant sind hierbei nur die negativen Komponenten von \mathbf{r}' , von denen die kleinste Komponente auszuwählen ist. Im vorliegenden Fall ist das die vierte Komponente, also $r_4 = -26/29$. Mit einem vorab gewählten Wert $\beta = 1/2$ lässt sich dann die Schrittweite

$$\alpha = \frac{-\beta}{\min_j r'_j} = \frac{-1/2}{-26/29} = \frac{29}{52}$$

berechnen (siehe Abbildung 2.7). Sollte $\alpha \leq 0$ sein (das ist der Fall, falls alle Komponenten $r'_j \geq 0$ wären), dann müsste das Verfahren mit der Erkenntnis abgebrochen werden, dass keine optimale Lösung existiert, da die Zielfunktion unbeschränkt ist.

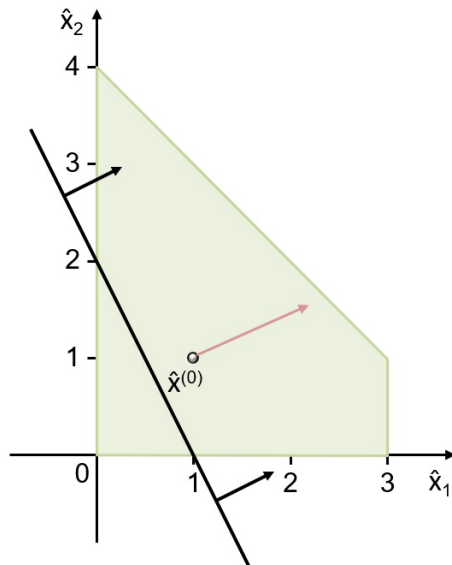


Abbildung 2.6: Iteration 1: Bestimmung der Richtung

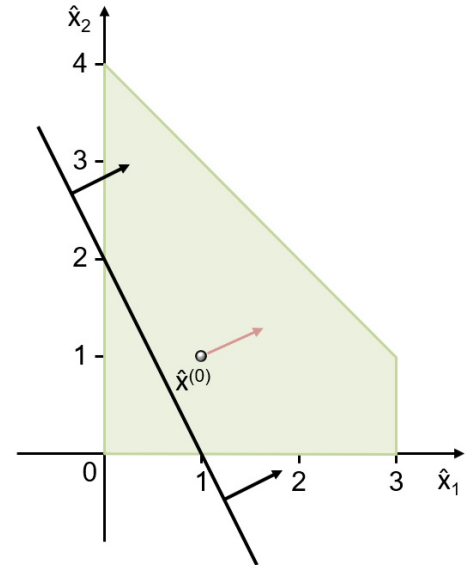


Abbildung 2.7: Iteration 1: Bestimmung der Schrittweite

Mit der gerade ermittelten Schrittweite α und der zuvor berechneten Richtung \mathbf{r}' kann nun in **Schritt 5** das neue Folgeglied $\hat{\mathbf{x}}^{(1)}$ berechnet werden:

$$\hat{\mathbf{x}}^{(1)} = \mathbf{e} + \alpha \mathbf{r}' = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} + \frac{29}{52} \cdot \frac{1}{29} \begin{pmatrix} 36 \\ 16 \\ -18 \\ -26 \end{pmatrix} = \frac{1}{52} \begin{pmatrix} 88 \\ 68 \\ 34 \\ 26 \end{pmatrix}.$$

Dieses Folgeglied liegt allerdings noch in den transformierten Koordinaten, weshalb in **Schritt 6** durch die Multiplikation mit der Diagonalmatrix \mathbf{D} und somit

$$\mathbf{x}^{(1)} = \mathbf{D}\hat{\mathbf{x}}^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 88/52 \\ 68/52 \\ 34/52 \\ 26/52 \end{pmatrix} = \frac{1}{52} \begin{pmatrix} 88 \\ 68 \\ 68 \\ 52 \end{pmatrix}$$

die Skalierung zurück in die ursprünglichen Koordinaten (siehe Abbildung 2.8) erfolgt.

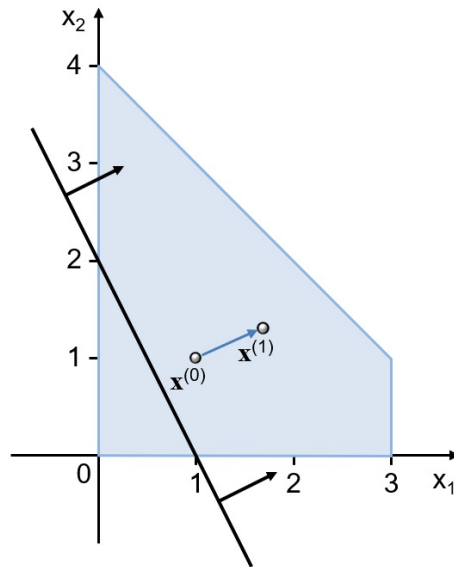


Abbildung 2.8: Iteration 1 in den ursprünglichen Koordinaten

Durch $\mathbf{x}^{(1)}$ hat man nun wieder einen inneren Punkt erhalten, d. h. $\mathbf{x}^{(1)} > \mathbf{0}$ und

$$\mathbf{Ax}^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{52} \begin{pmatrix} 88 \\ 68 \\ 68 \\ 52 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \end{pmatrix} = \mathbf{b}.$$

Durch den Übergang von $\mathbf{x}^{(0)}$ zu $\mathbf{x}^{(1)}$ hat sich der Zielfunktionswert von $F(1, 1) = 3$ verbessert auf $F(88/52, 68/52) = \frac{244}{52} \approx 4,6923$.

Der Punkt $\mathbf{x}^{(1)}$ ist nun Ausgangspunkt für eine weiteren Durchlauf des Verfahrens. In Abhängigkeit des gewählten Wertes für die Größe ε (und einer vorab festgelegten maximalen Anzahl an Iterationen N) müssten dann weitere Durchläufe folgen.

Die optimale Lösung des betrachteten Problems ist $x_1^* = 3$, $x_2^* = 1$ und $F(x_1^*, x_2^*) = 7$. Um nun beispielsweise für einen Wert $\varepsilon = 0,0001$ eine hinreichend gute Näherung zu erhalten, müssten, wie in Tabelle 2.3 zu sehen, 17 Iterationen des Verfahrens durchgeführt werden. Dabei ist erkennbar, dass das Verfahren gegen die angegebene optimale Lösung konvergiert.

i	$x_1^{(i)}$	$x_2^{(i)}$	$F(x_1^{(i)}, x_2^{(i)})$
0	1,0000	1,0000	3,0000
1	1,6923	1,3077	4,6923
2	2,2080	1,2920	5,7080
3	2,6040	1,1243	6,3324
4	2,8020	1,0324	6,6364
5	2,9010	1,0044	6,8064
6	2,9505	1,0002	6,9012
7	2,9753	1,0000	6,9505
8	2,9876	1,0000	6,9753
9	2,9938	1,0000	6,9876
10	2,9969	1,0000	6,9938
11	2,9985	1,0000	6,9969
12	2,9992	1,0000	6,9985
13	2,9996	1,0000	6,9992
14	2,9998	1,0000	6,9996
15	2,9999	1,0000	6,9998
16	3,0000	1,0000	6,9999
17	3,0000	1,0000	7,0000

Tabelle 2.3: Lösungswerte der ersten 17 Iterationen (auf vier Nachkommastellen gerundet)

Dies ist auch der nachfolgenden Abbildung 2.9 zu entnehmen, in der der zulässige Bereich des betrachteten Problems, die Zielfunktion, der Startpunkt $\mathbf{x}^{(0)}$, die optimale Lösung \mathbf{x}^* sowie die Folgeglieder, die sich durch die ersten 5 Iterationen des Verfahrens ergeben, eingezeichnet sind.

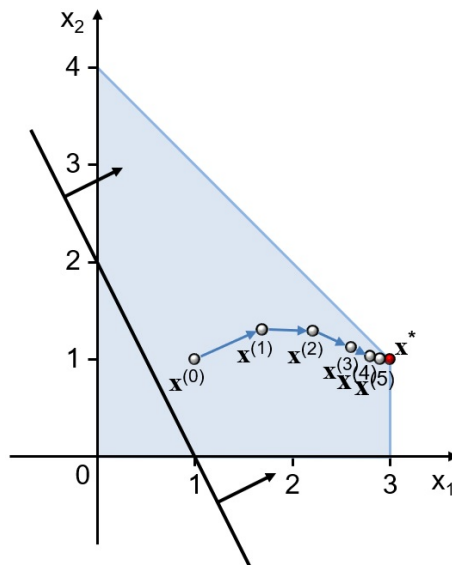


Abbildung 2.9: Zulässiger Bereich und Folgeglieder des betrachteten Beispiels

2.4.3 Resultierende Lernanforderungen für die IP-Methoden

Auch zu diesem Punkt wurden zunächst Modulbeschreibungen verschiedener Hochschulen, die Innere-Punkt-Verfahren zum Inhalt haben, auf inhaltliche Voraussetzungen hin untersucht. Gefordert wurden dabei mit hohem Konsens gute Kenntnisse aus den Bereichen der linearen Algebra und der Analysis. Mit den Erkenntnissen des Abschnitts 2.3, S. 36 ff. sollen diese Anforderungen nachfolgend etwas detaillierter aufgeführt werden (mit der Einschränkung der Verwendung des Inneren-Punkt-Verfahrens zur Lösung linearer Programme).

- Innere-Punkt-Verfahren
 - Grundlagen Analysis
 - * Funktionen mit mehreren Variablen
 - Differentiations- und Integrationsregeln
 - Partielle Ableitungen
 - Richtungsableitungen
 - Gradient
 - Grundlagen linearer Algebra
 - * Vektor- und Matrixalgebra
 - Grundbegriffe (Vektor, Matrix, Dimension)
 - Elementare Operationen (Addition, Multiplikation, Transponieren)
 - Inverse einer Matrix
 - Linearkombinationen
 - Lineare Abhängigkeit/Unabhängigkeit
 - Rang einer Matrix
 - Norm eines Vektors
 - Abstrakte algebraische Strukturen wie Vektorraum
 - Analytische Beschreibung und Darstellung eines Punktes, einer Geraden sowie einer Ebene in Ebene und Raum
 - Geometrische Transformationen und deren Darstellung mittels Matrizen

- * Lineare Gleichungs- und Ungleichungssysteme
 - Existenz von Lösungen
 - Eindeutigkeit
 - Lösungsverfahren

Im Vergleich mit den mathematischen Lernvoraussetzungen des Simplex-Algorithmus sind die der Inneren-Punkt-Methoden als etwas umfangreicher anzusehen. Dies bezieht sich zum einen auf den Bereich der Analysis und vor allem auf den Bereich der Vektor- und Matrixalgebra bedingt durch die fordernden Iterationsschritte der IP-Methoden. Die wirtschaftswissenschaftlichen Lernvoraussetzungen sind natürlich dieselben, wenn die Verfahren in ihrer Anwendung auf dieselben Problemfelder der linearen Programmierung eingeschränkt werden.

Wie bereits erwähnt und mit der grundlegenden IP-Methode von Dikin in den vorangegangenen Abschnitten 2.4.1, S. 50 ff. und 2.4.2, S. 59 ff. gezeigt, stellen die IP-Methoden anspruchsvolle Verfahren, gekennzeichnet durch die „relativ aufwendigen Iterationsschritte“ (ZIMMERMANN (2008), S. 176) dar. Neben den gerade im Detail aufgeführten erforderlichen Kenntnissen aus den Bereichen der linearen Algebra und der Analysis sind deswegen neben diesen mathematischen Lernvoraussetzungen insbesondere weitere individuelle Lernvoraussetzungen, die all das umfassen, was der Lernende an Kenntnissen und Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten, aber auch an Einstellungen, Motiven und erlerntem Verhalten in eine Lernsituation mitbringt aus dem kognitiven und auch dem motivationalen Bereich von besonderer Bedeutung. Dabei gilt den in Abschnitt 2.3.2, S. 39 ff. angegebenen personenbezogenen Eigenschaften aus den Kategorien *D1) Einstellungen und Arbeitsweisen* und *D2) Kognitive Fähigkeiten und Kenntnisse* im Folgenden besonderes Augenmerk.

Der hohe Abstraktionsgrad in Relation mit den komplizierten und auch zahlreichen Iterationsschritten der IP-Methoden erfordert ein präzises abstraktes Denken in Verbindung mit einer hohen geistigen Beweglichkeit. Dabei sind eine gewisse Kreativität und ein ausgeprägtes (auch räumliches) Vorstellungsvermögen nicht nur beim Erlernen, sondern insbesondere auch zur Übertragung von Methoden und eben auch zur Generierung von Problemlöseideen hilfreich.

Zudem stellt das Erlernen von IP-Methoden, gerade auch wegen der umfassenden Iterationsschritte mit unter anderem zahlreichen und anspruchsvollen Matrizenoperationen, besondere Anforderungen an die Bereitschaft und Fähigkeit zu konzentriertem Arbeiten auch über einen längeren Zeitraum. Dies erfordert neben Ausdauer und Durchhaltevermögen auch eine gewisse Zähigkeit und eine höhere Frustrationstoleranz, um bei kleineren oder eben größeren Rückschlägen im Lernprozess konstruktiv mit diesen umgehen zu können. Hilfreich ist natürlich ebenso ein bestimmtes Maß an Selbstdisziplin, um auch das ursprüngliche Ziel nicht aus den Augen zu verlieren.

In diesem Zusammenhang spielen Motivation (siehe auch 5.2, S. 168 ff.) und Neugier eine große Rolle. Neugier gegenüber der Anwendung von Mathematik im ökonomischem Umfeld und die Bereitschaft zum Verständisgewinn der Vorgehensweise des Verfahrens sind dem Lernprozess dienlich. Damit ist insbesondere die Bereitschaft zur tiefgreifenden Durchdringung und Reflexion der anspruchsvollen Iterationsschritte und des fordernden Gesamtprozesses gemeint, verbunden mit der Bereitschaft zur Lösung ökonomischer Probleme.

Dadurch ergeben sich auch besondere Ansprüche an die Fähigkeit zur selbständigen Arbeit und an eine strukturierte Arbeitsweise, d. h. eine konzentrierte, gewissenhafte und systematische Herangehensweise zur Erlernung der Vorgehensweise eines IP-Verfahrens. Dies ist gerade auch aufgrund der bereits mehrfach angesprochenen aufwendigen Iterationsschritte mit zahlreichen Rechenoperationen relevant.

Bezugnehmend auf die hohe geistige Beweglichkeit „guter Problemlöser“ und den in Abschnitt 2.3.2, S. 39 ff. angeführten Erscheinungsformen dieser Eigenschaft sind für das Erlernen einer IP-Methode insbesondere die Reduktion und auch die Reversibilität anzuführen. Der Lernende muss zum einen in der Lage sein, Probleme und auch Teilprobleme auf das Wesentliche zu reduzieren, um einzelne Schritte betrachten und sich auf diese fokussieren zu können und zum anderen sollte er Gedankengänge rückwärts nachvollziehen können. Zum besseren Verständnis ist unterdessen hilfreich, Bereitschaft dafür aufzubringen, Zusammenhänge einzelner Schritte verstehen und auch herleiten zu wollen.

Auch auf Basis der hier aufgeführten Lernvoraussetzungen der IP-Methoden und unter weiterer Berücksichtigung der in den Abschnitten 2.3.2, S. 39 ff. und 2.3.3, S. 45 ff. betrachteten gemeinsamen und typischen Lernanforderungen einzelner und ausgewählter Methoden des OR sowie der in diesem Abschnitt notierten resultierenden Lernanforderungen für die IP-Methoden sollen dann in Abschnitt 4.2, S. 141 ff. sich daraus ergebende Anforderungen für die Konzeption einer Lernsoftware zu den IP-Methoden herausgearbeitet werden.

2.5 Idee des Einsatzes von Lernsoftware für das Erlernen von OR-Methoden

Wie in Abschnitt 2.1.3, S. 13 ff. dieser Arbeit beschrieben, stellt eine Methode des Operations Research ein Verfahren dar, das ein zuvor definiertes formales Problem (eingebettet in einen wirtschaftswissenschaftlichen Hintergrund) nach endlich vielen Schritten löst oder zu der Aussage gelangt, dass keine Lösung existiert. Es handelt sich dabei um eine Folge konkreter Schritte, so dass bei jeder Anweisung eindeutig klar ist, was zu tun ist (vgl. KNUTH (1997), S. 5).

Die klar formulierbaren Lernanforderungen, die in einzelnen Schritten des Verfahrens konkreten Anweisungen und das üblicherweise Durchlaufen mehrerer Iterationen bis zum Auffinden der optimalen Lösung³ (oder der Aussage, dass es keine Lösung gibt) sind Ansatzpunkte, die für produktive Aspekte einer Abbildung des Lehr-/Lerninhalts der Methodenlehre des Operations Research in einer Lernsoftware stehen.

Innerhalb des Operations Research können Algorithmen als zentrales Element des Fachgebiets betrachtet werden. Die Vermittlung der algorithmischen Grundlagen ist für das Verständnis des Fachgebiets einerseits und den Aufbau von Problemlösungskompetenz auf der anderen Seite zwingend notwendig (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 211). Diese Kompetenz meint den Transfer des erworbenen Wissens und der erarbeiteten Fähigkeiten auf reale Problemstellungen, verbunden mit Auswahl, Anpassung und Anwendung von Methoden sowie der Interpretation der gewonnenen Ergebnisse in Bezug auf die Ausgangssituation.

³Bei Heuristiken wird üblicherweise eine möglichst „gute“ Lösung angestrebt.

Dabei macht insbesondere die sehr mathematische Ausrichtung grundlegender OR-Methoden eben auch in Verbindung mit der mangelnden Anschaulichkeit herkömmlicher Darstellungsformen Operations Research für viele Studierende zu einem vergleichsweise schwierigen und schwer zugänglichen Gebiet (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 211). In traditionellen Lehrformen ist die Lernumgebung zudem „relativ arm und unflexibel gegenüber den Fähigkeiten, Zuständen und Verhaltensweisen der Lerner. Lernerzentriertes, differenziertes, adaptives Lernen ist nicht die Regel“ (WEIDENMANN et al. (1993), S. 551).

In der Algorithmenlehre ist es elementar einzelne Schritte des Verfahrens selbst durchzuführen, um sich so auch das Rüstzeug für den Umgang mit diesen zu erarbeiten. Dabei ist insbesondere die Aktivität des Lernenden selbst gefragt. Lernsoftware in multimedialer Form bietet die Chance, Informations- und Lernprozesse mit Blick auf ein aktives, problemorientiertes Lernen zu erneuern (vgl. ISSING und KLIMSA (2002), S. 1) und ist damit für das „Lernen nach dem Grundkonzept des aktiven Wissenserwerbs“ (ISSING und KLIMSA (2002), S. 2) in besonderer Form geeignet.

Für das Erlernen von Methoden des Operations Research ist es erforderlich die notwendigen Kenntnisse und Fertigkeiten insbesondere durch Wiederholungen zu vertiefen und zu festigen. Dazu lässt sich Lernsoftware geradezu befähigen. Schulmeister hebt hier zudem die Bedeutung der prinzipiell sanktionsfreien Interaktion mit Lernsoftware hervor (vgl. SCHULMEISTER (1996), S. 45). Software ist dabei unendlich „geduldig“ und unterstützt durch beliebige Wiederholbarkeit geradezu das Lernen (vgl. SCHULMEISTER (1996), S. 45).

In einer Lernsoftware kann zudem ein hohes Maß an Anschaulichkeit erlangt werden, da Möglichkeiten der Visualisierung genutzt werden können, die sich mit herkömmlicher Technologie nur schwer realisieren oder überhaupt verfügbar gemacht werden können (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 32). So bietet es sich in der Methodenlehre des OR regelrecht an, das betrachtete Verfahren auf verschiedene Arten und Weisen zu beschreiben und darzustellen (u. a. verbal, Pseudocode, Struktogramm, ...) sowie interaktive Abbildungen zur Beschreibung dessen Abläufe zu verwenden, um damit Vorteile im Hinblick auf Verständlichkeit und Anschaulichkeit zu generieren.

Die Voraussetzungen, die sich durch multimediale Lernumgebungen in Form einer didaktisch angemessenen Präsentation von Lernkonzepten und -inhalten zur Förderung der erwünschten Bildung mentaler Modelle bietet (vgl. ISSING und KLIMSA (2002), S. 2), soll auch für die Methodenlehre des Operations Research genutzt werden. Durch sie soll „die Integration neuen Wissens in die individuell vorhandenen mentalen Strukturen erleichtert“ (ISSING und KLIMSA (2002), S. 2) werden. Die Chance, die sich dabei durch Informations- und Kommunikationstechnologie bietet, gilt es zu ergreifen (vgl. ISSING und KLIMSA (2002), S. 2).

Darüber hinaus kann die durch eine entsprechend gestaltete Lernsoftware mögliche Individualisierung des Lernens als signifikante Verbesserung betrachtet werden. Durch sie kann in erhöhtem Ausmaß selbstgesteuertes Lernen in zeitlich und räumlich flexibler Art und Weise ermöglicht werden. Mit entsprechend gestalteten Angeboten kann Lernenden mit unterschiedlichen Vorwissen und Präferenzen bzgl. Lerngeschwindigkeit, -weg und Schwerpunktsetzung (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 33) auch in der Methodenlehre des Operations Research in adäquater Form begegnet werden. Gerade im Bereich der Methodenlehre, in der individuelles Verständnis und die Konstruktion eigenen Wissens durch Ausprobieren und Anwenden einzelner Schritte sehr wichtig sind, können dadurch Vorteile geschaffen werden.

Aber auch in der Hinsicht, dass die Fachinhalte des Operations Research als relativ stabil betrachtet werden können, ist das Gebiet der Methodenlehre zur Gestaltung einer Lernsoftware sehr gut geeignet, da dadurch auch der Aufwand für Anpassungen und Aktualisierungen in vertretbarem Rahmen bleiben dürfte (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 211). Zudem kann die technische Infrastruktur für softwareunterstütztes Lernen als verfügbar und entsprechend erforderliche Hardware als erschwinglich angesehen werden.

Insgesamt betrachtet wird durch den Einsatz von Lernsoftware auch der Umgang mit neuen Medien gefordert und gefördert, der sich positiv auf die Medienkompetenz des Lernenden auswirkt (vgl. KERRES (2005), S. 216). Diese Kompetenz ist dabei nicht nur in Ausbildung oder Studium eine wichtige Größe. Neben dieser kann der Aspekt der Selbständigkeit als wichtige Schlüsselqualifikation aufgeführt werden. Gerade auch durch die Selbststeuerung des

Lernprozesses in interaktiven Lernumgebungen ergibt sich die Möglichkeit diese auszubauen (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 1).

Im Rahmen dieser Arbeit wurde unter den Inhabern von Lehrstühlen für Operations Research und von OR-nahen Lehrstühlen an wirtschaftswissenschaftlichen Fakultäten deutscher Hochschulen in den Jahren 2013/2014 eine Umfrage zum Einsatz von Lern- und Optimierungssoftware im Operations Research durchgeführt.

Da zur Bearbeitung der in der Umfrage gestellten Fragen insbesondere die Begriffe Lernsoftware und Optimierungssoftware von zentraler Bedeutung waren, wurden zu Beginn des Fragebogens folgende Definitionen aufgeführt:

- Der Begriff der Lernsoftware umfasst dabei jede Art von Software, die eigens für Lehr- und Lernzwecke erstellt wurde und mit deren Hilfe sich ein Lernender eigenständig mit einem bestimmten Stoffgebiet vertraut machen kann.
- Unter dem Begriff Optimierungssoftware wird ein standardisiertes kommerzielles System verstanden, das insbesondere zur Modellierung und Lösungsermittlung vorliegender Problemstellungen verwendet wird (Bsp.: Cplex, Lingo, Xpress, GAMS, AIMMS, Arena, MS Project, ...).

Insgesamt nahmen 49 Lehrstühle an der Befragung teil, wobei 40 davon Software zu Themengebieten des Operations Research in Lehrveranstaltungen einsetzen.

An jedem dieser 40 Lehrstühle findet der Einsatz von Optimierungssoftware in Lehrveranstaltungen statt. Mit 36 Nennungen führt die lineare Optimierung die Liste der Teilgebiete an, die von der verwendeten Optimierungssoftware abgedeckt werden. Mit Blick auf die Methoden, die sich dabei im Mittelpunkt des Interesses befinden, steht das Simplex-Verfahren mit 31 Nennungen ganz oben. Die Produktionsprogrammplanung wird genauso häufig unter der Frage nach dem angesprochenen Anwendungsgebiet genannt. Zu der in Veranstaltungen eingesetzten Optimierungssoftware ist neben Cplex und Xpress auch der Excel-Solver mit am häufigsten aufgeführt.

Lernsoftware kommt an 13 Lehrstühlen zum Einsatz. Auch hier führen die lineare Optimierung und die Simplex-Methode mit jeweils 6 Nennungen sowie die Produktionsprogrammplanung mit 5 Nennungen die jeweiligen Kategorien an. Unter den gemachten Angaben der hierbei eingesetzten Software ist die selbstentwickelte Lernsoftware am häufigsten zu finden.

Abschließend betrachtet haben 92,5 % (37 von 40) der hierzu Befragten den Einsatz von Lernsoftware für Themen des ORs grundsätzlich für sinnvoll erachtet.

In den weiteren Ausführungen wird der zentrale Ansatz verfolgt, dass Lernsoftware nicht dem Ersatz klassischer Lehrformen und -formate dienen soll. Vielmehr soll durch sie eine Erweiterung und Verbesserung der „herkömmlichen“ Lehre und auch die Bereitstellung von Lerninhalten für neue Zielgruppen erreicht werden (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 32). Sie soll, wie auch andere digitale Formate in der Methodenlehre des Operations Research eine Bereicherung der Vielfalt und Formen des Lehrens und Lernens darstellen.

Letztendlich soll eine Lernsoftware für die Methodenlehre des Operations Research zielgruppenorientiert sein, ein theoretisches Lernmodell beinhalten und mit einem methodischen/didaktischen Konzept arbeiten. Sie soll die komplexen Sachverhalte der Methodenlehre strukturieren, abstrakte Sachverhalte veranschaulichen und in interaktiver Weise einen motivierenden, selbstgesteuerten Ansatz zu aktivem und effizientem Lernen bieten. Aufschluss darüber, ob und in welcher Form dies beim Erlernen von OR-Methoden umgesetzt werden kann und möglich ist, sollen weitere und ausführliche Betrachtungen an späterer Stelle, zunächst in den Abschnitten 3.5, S. 107 ff. und 3.6, S. 121 ff. und dann insbesondere in den Abschnitten 4.2, S. 141 ff., 4.3, S. 143 ff. und 5.3, S. 176 ff. dieser Arbeit, liefern.

2.6 Gründe für die Auswahl der IP-Methoden als Demonstrationsbeispiel

Bei der Auswahl eines Algorithmus des Operations Research zur Demonstration des Aufbaus, der Vorgehensweise und der Eigenschaften einer Lernsoftware

im Bereich der Methodenlehre des Operations Research waren viele Faktoren in Überlegungen miteinbezogen, die hier auch aufgezeigt werden sollen.

Unter anderem spielte die Wahl des Teilgebietes des Operations Research, dem der Algorithmus zugeordnet ist, eine Rolle. Hier ist die Auswahl zugunsten der linearen Optimierung als dem größten und wichtigsten Teilgebiet des OR mit seinen zahlreichen Anwendungsgebieten ausgefallen. Innerhalb der linearen Optimierung wäre nun auf den ersten Blick betrachtet die Auswahl des Simplex-Algorithmus die nahe liegende Vorgehensweise gewesen. Die Simplex-Methode hätte sich als Demonstrationsbeispiel sicherlich auch sehr gut geeignet.

Die Auswahl ist aber aus bestimmten Gründen zugunsten der IP-Methoden getroffen worden, die sich nach und nach durch die gegenüberstellende Betrachtung der beiden Ansätze ergeben haben. So lassen sich zwar zahlreiche auftretende lineare Programme effizient mit dem Simplex-Algorithmus lösen, allerdings ist insgesamt betrachtet nicht auszuschließen, dass die Anzahl der erforderlichen Iterationen exponentiell mit der Größe des zugrunde liegenden Problems wächst und das Verfahren somit eine ungünstige theoretische Komplexität aufweist. Hier weisen die IP-Methoden bessere theoretische Eigenschaften in Form einer polynomialen Komplexität auf (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 175).

Liegen lineare Programme mit redundanten Nebenbedingungen⁴ oder auch entartete lineare Programme⁵ vor, so muss festgehalten werden, dass dies bei Simplex-Verfahren im Gegensatz zu IP-Methoden zu Problemen führen kann. Dahingegen kann man bei Simplex-Verfahren mit einer Basislösung in der Nähe der optimalen Basislösung zur Verkürzung des Lösungswegs starten, was andererseits bei IP-Methoden nicht derart einfach möglich ist (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 175 f.).

⁴Damit sind Restriktionen gemeint, die für die Beschreibung des zulässigen Bereichs nicht erforderlich sind und deren Nichtbeachtung somit zu keiner Veränderung dieses Bereichs führt (vgl. SCHADE (2008), S. 9).

⁵Bei sogenannten entarteten linearen Programmen ist mindestens eine Ecke des zulässigen Bereichs durch eine größere Zahl an Ungleichungen definiert, als dies zwingend erforderlich wäre.

Wenngleich zudem Simplex-Verfahren Vorteile bei ganzzahligen linearen Programmen vorweisen können, liegen diese bei sehr großen Problemstellungen mit nur schwach besetzten Matrizen wiederum auf Seiten der IP-Methoden, so dass sich schlussendlich anmerken lässt, dass keiner der beiden Ansätze in der praktischen Anwendung dominiert (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 176). Aus den genannten Gründen sind in aktuellen Softwarepaketen beide Verfahren enthalten (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 175).

„Theoretische Erwägungen scheinen zwar für IPV zu sprechen“ (vgl. ZIMMERMANN (2008), S. 176), tragen jedoch nur einen kleinen Teil zur Entscheidung bei. Ein weiterer kleiner Beitrag zur Entscheidungsfindung ist darin zu sehen, dass die IP-Methoden nicht nur auf den Einsatz zur Lösung linearer Programme beschränkt sind. Diese können auch zur Lösung quadratischer, weiterer nichtlinearer und in bestimmten Fällen auch zur Lösung kombinatorischer Problemstellungen verwendet werden (vgl. u. a. KARMARKAR (1988)).

Mit Blick auf Modulbeschreibungen diverser Hochschulen, die die lineare Optimierung und deren Verfahren zum Inhalt haben, scheinen die Simplex-Verfahren in ihrer Beachtung doch ein Übergewicht gegenüber den IP-Verfahren zu haben. Darauf deutet auch die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte und im vorherigen Abschnitt 2.5, S. 70 ff. beschriebene Umfrage hin. Dieser subjektive Eindruck verbunden mit dem „Reiz“ des neueren Verfahrens ergeben einen weiteren Aspekt zugunsten der IP-Methoden, um damit dann auch das zu Beginn dieses Abschnitts geöffnete Teilgebiet der linearen Optimierung zu verlassen.

Unabhängig von Teilgebieten stellen die IP-Methoden anspruchsvolle Verfahren dar, die sich auch durch „die relativ aufwendigen Iterationsschritte“ (ZIMMERMANN (2008), S. 176) auszeichnen. Die Anknüpfung an diverse Lernvoraussetzungen, die aufwendigen, vielschichtigen Verfahrensschritte mit den sich dadurch ergebenden verschiedenartigen Codierungs-, Erklärungs- und Visualisierungsmöglichkeiten auf der einen Seite, verbunden mit den zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten auf der anderen Seite, bieten mannigfaltige Voraussetzungen und Einsatzgelegenheiten für lerntheoretische und didaktische Betrachtungen und Ansätze und sollen damit die Begründung für die Auswahl der IP-Methoden als Demonstrationsbeispiel für die didaktische Gestaltung einer Lernsoftware für OR-Methoden abrunden.

Kapitel 3

Pädagogisch-didaktische Grundlegung für die Konzeption von Lernsoftware

3.1 Theoretische Grundlagen des Lernens

Der Begriff des *Lernens* ist ein vielschichtiger Begriff, der aus unterschiedlichen Perspektiven in verschiedenen Disziplinen betrachtet wird. Das Wort „Lernen“ ist vom gotischen Begriff für „ich weiß“ (*lais*) und dem indogermanischen Wort für „gehen“ (*lis*) abgeleitet (siehe WASSERZIEHER (1974), S. 289). So deutet die Abstammung des Wortes bereits darauf hin, „dass Lernen ein Prozess ist, bei dem man einen Weg zurücklegt und dabei zu Wissen gelangt“ (MIELKE (2001), S. 11).

Lernen ist ein Prozess, in dem der Mensch sich ständig befindet, und dessen Vorstellung zu vielen Theorien geführt hat und führt. An dieser Stelle sollen die drei klassischen Theoriesysteme, die „drei großen Theoriegebäude“ (REINMANN-ROTHMEIER (2003), S. 35) der Lernpsychologie – Behaviorismus, Kognitivismus und Konstruktivismus – in der zeitlichen Reihenfolge ihres Aufkommens und auch in der Reihenfolge, in der die Rolle des Lernenden einen Wandel von der passiven zur aktiven vollzieht, skizziert werden.

3.1.1 Die behavioristische Lerntheorie

In behavioristischen Lerntheorien steht das beobachtbare Verhalten („behavior“ = Verhalten) im Mittelpunkt der Untersuchungen. Das Gehirn des Lernenden wird dabei als „black box“, als ausschließlich passiver Behälter (siehe Abbildung 3.1), der mit Wissen gefüllt werden soll, betrachtet (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 101).

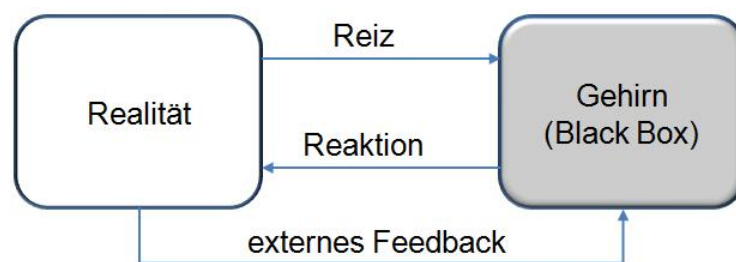


Abbildung 3.1: Reiz-Reaktions-Prozess (in Anlehnung an HÖHNE (2015a))

Interne bewusste und kognitive Prozesse sind hier nicht von Bedeutung. Diese auf den Amerikaner John B. Watson (1878-1958) in ihren Ursprüngen zurückzuführenden Theorien sind demnach an der Steuerung von beobachtbarem Verhalten interessiert. In seinem Aufsatz „Psychology as the Behaviorist Views it“ hebt er sich von der Bewusstseinspsychologie, die auf Introspektion beruht, ab und ruft dazu auf, alles Subjektive aus der Psychologie auszugrenzen (vgl. WATSON (1913)). Nach dem Reiz-Reaktions-Modell ist dem Lernenden lediglich ein bestimmter Reiz zu vermitteln, um diesen zu einer bestimmten Reaktion, sprich Verhalten, zu bewegen. Lernen wird hier folglich als konditionierter Reflex betrachtet, der durch Anpassung erworben wird (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 101), und ist damit gleichzusetzen mit der Änderung beobachtbaren Verhaltens durch Reize. Wissen wird dabei als objektive Größe betrachtet.

Mit Blick auf die Konditionierung lassen sich unterschiedliche Modelle betrachten. Die klassische Konditionierung beispielsweise wird auf den frühen Behavioristen Iwan P. Pawlow zurückgeführt. Dabei werden vorhandene Reiz-Reaktions-Verbindungen mit einem neuen und neutralen Reiz gekoppelt. Diese Form der Konditionierung wird auch als Signallernen bezeichnet. Die operante Konditionierung ist Burrhus F. Skinner zuzuschreiben. Skinner strebte ein Modell der „optimalen Beeinflussung zum Zweck der Optimierung von erwünsch-

tem Verhalten“ (KRON und SOFOS (2003), S. 89) an. Die Wahrscheinlichkeit des durch einen Reiz ausgelösten, erwünschten Verhaltens wird durch eine Belohnung (positive Verstärkung) erhöht. Die Belohnung wird zu einem neuen Reiz, der zu einer Wiederholung des erwünschten Verhaltens führt. Die operante Konditionierung wird deshalb auch als Verstärkungslernen bezeichnet.

Aus behavioristischer Sicht ist die Aufgabe und Rolle des Lehrenden dadurch gekennzeichnet, dass er die Lernaufgaben in kleinen Teilen in Verbindung mit entsprechenden Reizen präsentiert, um beim Lernenden so das erwünschte Verhalten zu erzeugen, den Prozess der Verhaltensänderung durch entsprechendes Feedback zu forcieren und dadurch letztendlich von außen zu lenken (vgl. HOIDN (2010), S. 101). Wissen wird folglich durch eine systematische Anleitung erzeugt.

Die Kritik an behavioristischen Lerntheorien ist zum einen an der Art des Erkenntnisgewinns, der aus Laborsituationen mit wenig Bezug zur Realität stammt, festzumachen und zum anderen an der zentralen Position des Behaviorismus – der Nichtbeachtung kognitiver, emotionaler und motivationaler Vorgänge. Behavioristische Lerntheorien werden so der Komplexität menschlichen Lernens nicht gerecht und werden auch dafür kritisiert, dass sie dem Lernenden eine passiv-rezeptive Rolle zuweisen (vgl. HOIDN (2010), S. 101).

Dass der Behaviorismus nicht als vollumfängliche Lerntheorie dienlich ist, lässt sich auch an teils widersprüchlichen Forschungsergebnissen festmachen (vgl. TULODZIECKI (2002), S. 2812). Das Aufbrechen der „black box“ und die Berücksichtigung kognitiver Vorgänge führten zur sogenannten „kognitiven Wende“.

3.1.2 Die kognitivistische Lerntheorie

Im Gegensatz zum Behaviorismus wird beim Kognitivismus das Gehirn nicht mehr als „black-box“ betrachtet, sondern als „Gerät der Informationsverarbeitung“ (BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 104) (siehe Abbildung 3.2).

Die kognitiven Prozesse, „interne Prozesse der Informationsverarbeitung wie Erkennen, Denken, Wahrnehmen, Interpretieren oder Erinnern“ (DE WITT

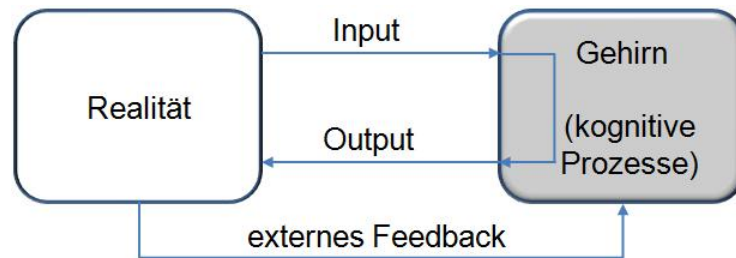


Abbildung 3.2: Lernmodell des Kognitivismus (in Anlehnung an HÖHNE (2015b))

und CZERWIONKA (2013), S. 50), treten in den Mittelpunkt des Interesses. Wissen wird verarbeitet und Änderungen des Verhaltens werden auf diese inneren Abläufe der Verarbeitung – das menschliche Denken – zurückgeführt. Lernen ist hier also gleichzusetzen mit der Verarbeitung von Informationen, Interpretation und Bewertung mit eingeschlossen, und wird häufig auch kurz mit „Lernen durch Einsicht“ beschrieben. Diese Auffassung ist unter anderem auf Kurt Koffka, Wolfgang Köhler und Max Wertheimer zurückzuführen, die der Berliner Schule für Gestaltpsychologie angehörten. Damit lässt sich auch erklären, dass Menschen auf gleiche Reize mit unterschiedlichem Verhalten reagieren.

Lernen meint hier die Bildung kognitiver Strukturen, die es beim Erwerb von Wissen auch zu verändern gilt. Dazu sind auch die Begriffe der „Assimilation“ und „Akkommodation“ zu nennen, die auf Jean Piaget zurückzuführen sind und seinem Entwicklungsstufenmodell entstammen (vgl. PIAGET (1975), S. 207). Bei der Assimilation werden neu aufgenommene Informationen so angepasst, dass sie in vorhandene kognitive Strukturen passen. Bei der Akkommodation werden kognitive Strukturen verändert, um zu den Informationen zu passen und/oder nicht in Konflikt mit anderen Strukturen zu geraten. Die Informationsverarbeitung und damit einhergehend der Erwerb von Wissen wird als Prozess verstanden, der streng nach Regeln abläuft, beschreibbar und steuerbar ist (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 51).

Mit Blick auf die Analogie zwischen Gehirn und Computer bieten sich unterschiedliche Ansatz- und Schwerpunkte für kognitivistische Theorien. Demzufolge kann beispielsweise der Aufbau interner kognitiver Strukturen, die Bildung einer generellen Problemlösefähigkeit oder auch die Art und Weise der

Speicherung von Informationen im Mittelpunkt stehen (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 51).

Bezüglich der Problemlösefähigkeit geht es letztendlich nicht mehr darum, auf bestimmte Reize richtig zu reagieren, sondern passende Methoden zur Problemlösung zu lernen, deren Anwendung die richtigen Antworten liefern (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 105). Die Funktion des Lehrenden bezieht sich aus kognitivistischer dann darauf, Sachverhalte zu vereinfachen, zu strukturieren und Problemstellungen entsprechend aufzubereiten (vgl. HOIDN (2010), S. 102).

Zentraler Kritikpunkt am Kognitivismus ist die Betrachtung und Annahme von Wissen als Größe, die objektiv existierend und extern gegeben ist (vgl. DUFFY und JONASSEN (1992), S. 3). Auch mit Blick auf den Bereich der Problemlösung kann festgehalten werden, dass das Problem als objektiv gegeben betrachtet wird, sich darstellen lässt und nur auf seine Lösung wartet (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1997), S. 92). Darüber hinaus wird die zu geringe Bedeutung sozialer, emotionaler und motivationaler Faktoren bemängelt. Auch ein Anlass zu Kritik ist das Aufgreifen und Festhalten kognitivistischer Theorien an der von Behavioristen vorgebrachten Annahme, dass sich Lernprozesse extern steuern lassen. Nach Baumgartner und Payr findet auch eine zu intensive Fokussierung auf geistige Verarbeitungsprozesse statt, die dazu führt, dass eben auch körperliche Fähigkeiten und Fertigkeiten schwer zu erklären sind (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 105).

3.1.3 Die konstruktivistische Lerntheorie

Der Konstruktivismus geht auf die Arbeiten des Entwicklungspsychologen Jean Piaget und des Psychologen und Pädagogen Hans Aebli zurück. Konstruktivistische Lerntheorien gehen von einer subjektiven Wahrnehmung der Realität aus. In der Gegenposition zum Kognitivismus lässt sich nichts objektiv wahrnehmen. Demnach existiert auch Wissen nicht objektiv. Jedes Individuum konstruiert sein eigenes und damit auch subjektives Bild der Realität. „Realität wird als eine interaktive Konzeption verstanden, in der Beobachter und Beobachtetes gegenseitig und strukturell miteinander gekoppelt sind“ (BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 107).

Diese subjektiven Konstruktionen der Realität beeinflussen dann auf welche Art und Weise ein Individuum Neues wahrnimmt und bewertet, dieses verarbeitet und sich in Folge dessen auch verhält (siehe Abbildung 3.3).

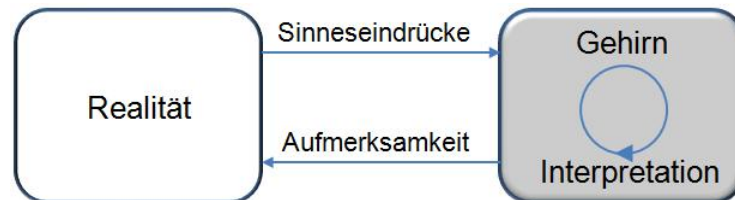


Abbildung 3.3: Modell der Wahrnehmung des Konstruktivismus (in Anlehnung an HÖHNE (2015c))

In den konstruktivistischen Theorien ist der menschliche Organismus ein „informationell geschlossenes System“. Ein solches System steht mit seiner Umwelt in einer energetischen Austauschbeziehung – Informationen fließen dabei nicht, sondern werden vom System für den Erkenntnisprozess selbst erzeugt (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 108). Humberto R. Maturana, der neben Ernst von Glasersfeld und Heinz von Förster ein Mitbegründer des radikalen Konstruktivismus ist, hat für solche Systeme den Begriff des „autopoietischen Systems“ (siehe etwa VARELA et al. (1974)) geprägt, das der Mensch als Lebewesen so verkörpert.

Dadurch verändert sich natürlich auch der Zugang zum Prozess des Lernens. Lernen wird als aktiver, selbstgesteuerter und vielfach auch kreativer Prozess in einem sozialen Kontext beschrieben. Wissen ist im Ergebnis dieses Prozesses ein subjektives „Konstrukt“, das innerhalb eines Individuums durch Erkenntnisprozesse unter Einbeziehung eigener Erfahrungen, Sinneseindrücke und unter Verwendung von Vorwissen zustande kommt. „Erkenntnisse sind danach individuelle Konstruktionen von Wirklichkeit auf der Basis subjektiver Erfahrungsstrukturen“ (TULODZIECKI (2002), S. 2814).

Bei einer solch subjektiven Betrachtung von Wissen lässt sich dieses nicht vermitteln und somit von einer Person auf eine weitere Person „übertragen“, sondern wird von jedem Individuum selbst konstruiert.

Die im Konstruktivismus verankerte Subjektivität führt, im Unterschied zum Kognitivismus, der sich mitunter auf das Lösen vorhandener Probleme fokus-

siert, auch dazu, dass das Erzeugen von Problemen in das Zentrum der Betrachtung rückt. Denn aus konstruktivistischer Sicht sind auch Probleme nicht objektiv existent, sondern müssen aus der jeweiligen Situation heraus individuell konstruiert werden (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 107).

Der Lehrende nimmt hier auch mit Blick auf seine große Erfahrung eine begleitende, kooperierende Rolle ein. Dabei kann er Veränderungen der Struktur anstoßen, letztendlich also Lernprozesse beim Lernenden von außen anregen (vgl. HOIDN (2010), S. 104).

Auch die Ansätze und Kerngedanken des Konstruktivismus werden kritisch betrachtet und diskutiert (vgl. dazu BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 108 ff. oder SCHNELL et al. (1999), S. 110 ff.). So werden die Vertreter des radikalen Konstruktivismus häufig damit konfrontiert, dass sie die Existenz einer Realität verkennen, die unabhängig vom Menschen ist, und dass deren eigene Theorie auf Erkenntnissen gründet, die nach deren eigenen Vorstellungen mit deren Subjektivität und relativen Wertigkeit so nicht existieren. Unter anderem wird dem Konstruktivismus darüber hinaus auch unterstellt, Probleme bei der Erklärung sozialer Faktoren und Vorgängen wie Sprache oder Gesellschaft zu haben (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 108 f.).

In Tabelle 3.1 sind die drei beschriebenen Lerntheorien kurz zusammengefasst und einander gegenübergestellt. Dabei ist ersichtlich, dass sich die Theorien in den relevanten Kategorien mitunter stark voneinander unterscheiden (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 110).

KAPITEL 3. PÄDAGOGISCH-DIDAKTISCHE GRUNDLEGUNG FÜR
DIE KONZEPTION VON LERNSOFTWARE

	Behaviorismus	Kognitivismus	Konstruktivismus
Vertreter	Pawlow, Skinner, Thorndike, Watson, ...	Bruner, Köhler, Lewin, Piaget, Tolman, ...	Aebli, Förster, Glasersfeld, Maturana, Piaget, Watzlawick, ...
Lern-Paradigma	Reiz-Reaktion	Problemlösen	Konstruieren
Lehrstrategie	lehren	begleiten, helfen	kooperieren
im Mittelpunkt	Reflexion	Kognition	Interaktion
Gehirn ist ein	passiver Behälter	informatios-verarbeitendes „Gerät“	geschlossenes Informationssystem
Wissen wird	gespeichert	verarbeitet	konstruiert
Wissen ist	eine korrekte Input-Output-relation	ein adäquater interner Verarbeitungsprozess	mit einer Situation operieren zu können
Feedback	extern vorgegeben	extern modelliert	intern modelliert
Präsentation des Stoffs	kleine, dosierte Einheiten	komplexe Umgebung	unstrukturierte Realität
Lernziele	richtige Antworten	Methoden zur Antwortfindung	komplexe Situationen bewältigen
Beurteilung durch	Leistung	Wissen	Kompetenz
Strategie	lehren	beobachten, helfen	kooperieren
Lehrperson ist	Autorität	Tutor	Coach, (Spieler-)Trainer
Feedback wird	extern vorgegeben	extern modelliert	intern modelliert

Tabelle 3.1: Überblick Lerntheorien (in Anlehnung an BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 110)

3.2 Grundsätzliche didaktische Modelle

Didaktik wird allgemein als die Wissenschaft vom Lehren und Lernen beschrieben. Aufgabe der Didaktik ist es, Lehrenden und Lernenden Hilfestellung in den Bereichen des Lehrens und Lernens zu bieten. Didaktischen Modellen ist dabei eine wichtige Rolle zugeordnet. Hoidn beschreibt didaktische Modelle als „Mittler zwischen Theorie und Praxis“, die dem Lehrenden Theorieangebote

für sein Handeln unterbreiten und vor „dem Hintergrund bestimmter Lernparadigmen“ entstehen (HOIDN (2010), S. 113).

Jank und Meyer stellen folgende Definition bereit:

1. „Ein didaktisches Modell ist ein erziehungswissenschaftliches Theoriegebäude zur Analyse und Planung didaktischen Handelns in schulischen und nichtschulischen Handlungszusammenhängen.
2. Ein didaktisches Modell stellt den Anspruch, theoretisch umfassend und praktisch folgenreich die Voraussetzungen, Möglichkeiten und Grenzen des Lehrens und Lernens aufzuklären.
3. Ein didaktisches Modell wird in seinem Theoriekern in der Regel einer wissenschaftstheoretischen Position (manchmal auch mehreren) zugeordnet“ (JANK und MEYER (2011), S. 35).

Didaktische Modelle können in ihren Aussagen zu Unterrichtszielen, -inhalten und -methoden, deren gegenseitigen Beziehungen sowie der Rechtfertigung damit in Verbindung stehender Entscheidungen voneinander abweichen. Den Lehrenden werden innerhalb dieser Modelle häufig auch verschiedene Rollen zugeordnet.

Mit Blick auf Abbildung 3.4 und Betrachtung der Arbeit von Hoidn treten drei wesentliche didaktische Modelle in den Vordergrund der hier stattfindenden Betrachtung (vgl. HOIDN (2010), S. 113 ff.).

Aus dem Strömungsfeld der bildungstheoretischen Didaktik soll die „kritisch-konstruktive Didaktik“, mit Blick auf die lerntheoretische Didaktik soll das „Berliner Modell“ und aus dem Bereich der konstruktivistischen Didaktik soll die „gemäßigt-konstruktivistische Didaktik“ kurz vorgestellt werden.

KAPITEL 3. PÄDAGOGISCH-DIDAKTISCHE GRUNDLEGUNG FÜR DIE KONZEPTION VON LERNSOFTWARE

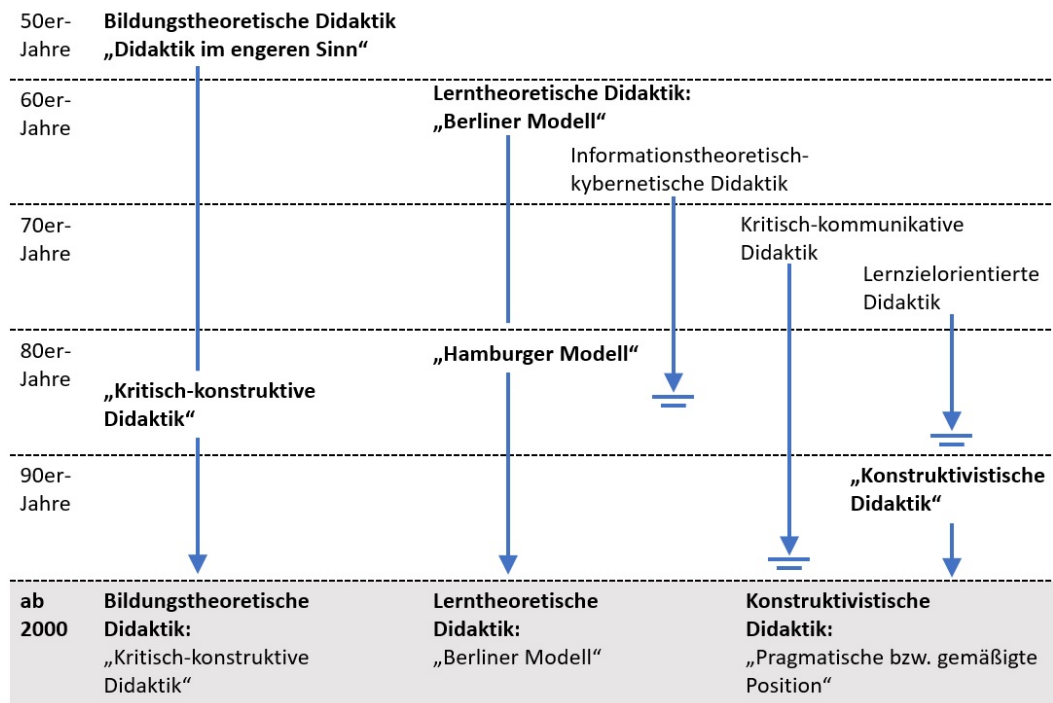


Abbildung 3.4: Didaktische Modelle seit 1950 (in Anlehnung an PETERSEN (2001), S. 146)

3.2.1 Die bildungstheoretische Didaktik

Die kritisch-konstruktive Didaktik wurde von Wolfgang Klafki auf Basis der bildungstheoretischen Didaktik, die zu sehr auf inhaltliche Problemstellungen abzielte, entworfen. Im Mittelpunkt der kritisch-konstruktiven Didaktik steht der durch Klafki geprägte umfassende Begriff der Bildung. „Die kritisch-konstruktive Didaktik versteht sich als ein politisches Programm zur Demokratisierung von Bildung und Schule“ (JANK und MEYER (2011), S. 231).

Der Ansatz wird als „kritisch“ bezeichnet, da gegebene Umstände kritisch zu hinterfragen sind und Kinder und Jugendliche zu Selbstbestimmung, Mitbestimmung und Solidarität befähigt werden sollen. Konstruktiv deshalb, weil die Didaktik nicht bei einer kritischen Betrachtung verharren soll, sondern praxisrelevantes Interesse an Gestaltung, Handlung und Veränderung vorbringt (vgl. KRON et al. (1996), S. 90).

Die kritisch-konstruktive Didaktik soll Lehrende bei der Planung von Unterricht unterstützen und zu flexiblem Agieren im Unterricht befähigen. Dem

Lernenden soll sie in der aktuellen Lebensphase „Verstehens-, Urteils- und Handlungsmöglichkeiten“ bieten und diesem „zu entsprechenden Entwicklungsmöglichkeiten auf seine Zukunft hin verhelfen“ (KLAFKI (1997), S. 17).

Zentraler Begriff dieser Didaktik ist dabei der Begriff der Bildung. Er fungiert als Leitlinie für zu treffende Entscheidungen und durchzuführende Handlungen (vgl. KRON et al. (1996), S. 49 ff.). Bildung wird hier betrachtet „als Befähigung zu vernünftiger Selbstbestimmung, die die Emanzipation von Fremdbestimmung voraussetzt oder einschließt, als Befähigung zur Autonomie, zur Freiheit eigenen Denkens und eigener moralischer Entscheidungen“ (KRON et al. (1996), S. 19). Dazu führt Klafki den Begriff der „kategorialen Bildung“ an, der sowohl die formale, auf Methoden bezogene Bildung, als auch die materielle, also auf Inhalte bezogene Bildung miteinander vereint (vgl. KRONER und SCHAUER (1997), S. 24 f.).

Der Begriff der Bildung wird von Klafki unterteilt in Individual- und Allgemeinbildung. Die Individualbildung dient der Förderung der Selbst-, Mitbestimmungs- und Solidaritätsfähigkeit (vgl. KRON et al. (1996), S. 52). Der Lernende soll alle Hilfe bekommen, die erforderlich ist, so dass er Bildung mit diesen drei Elementen erhält. Durch die Allgemeinbildung sollen zentrale aktuelle und zukünftige Problemfelder betrachtet werden. Allgemein meint hier „Bildung für alle“, „allseitig“ (bezugnehmend auf den Menschen als Ganzes) und „Bildung durch das Allgemeine, im Medium des Allgemeinen“ (vgl. KRON et al. (1996), S. 56 ff.).

Der Bildungsprozess fokussiert dabei nicht nur auf Bildungsinhalte, sondern legt auch Wert auf den Aspekt der Beziehung. Lehren und Lernen wird demnach auch als Interaktionsprozess betrachtet und zudem als sozialer Prozess wahrgenommen.

Unter diesen Voraussetzungen entwickelte Klafki ein „vorläufiges Perspektivenschema zur Unterrichtsplanung“ (siehe Abbildung 3.5), das eine Erweiterung der didaktischen Analyse um die Bedingungsanalyse, die Lehr-Lern-Prozessstruktur und die Erweis- und Überprüfbarkeit darstellt.

KAPITEL 3. PÄDAGOGISCH-DIDAKTISCHE GRUNDLEGUNG FÜR DIE KONZEPTION VON LERNSOFTWARE

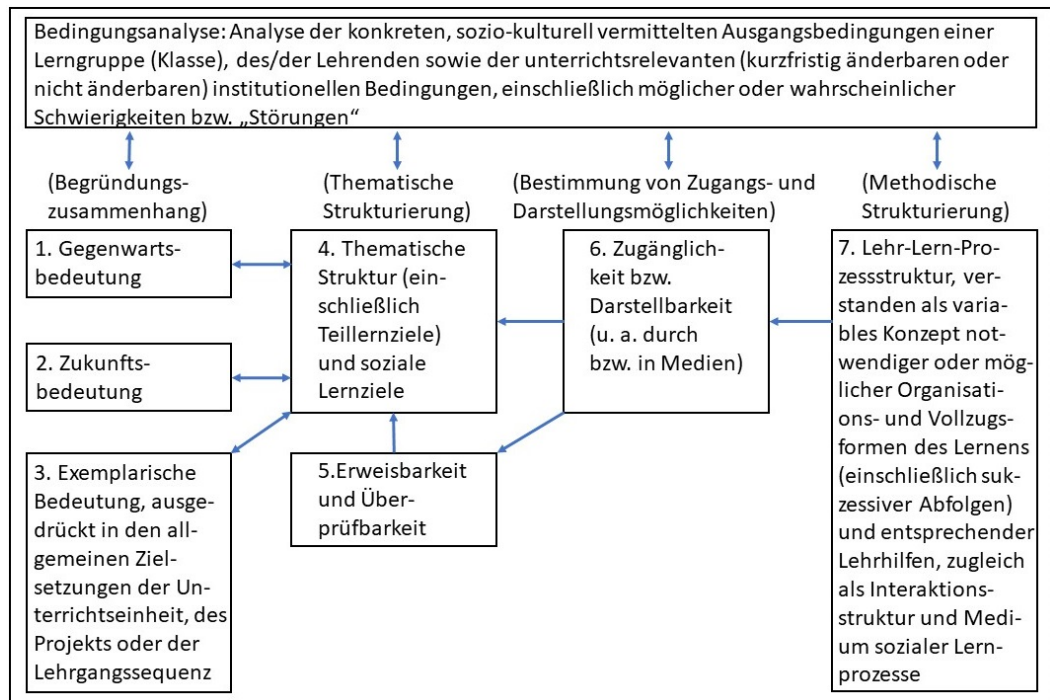


Abbildung 3.5: (vorläufiges) Perspektivenschema zur Unterrichtsplanung (in Anlehnung an KLAFKI (1997), S. 18)

Erster Schritt der Planung des Unterrichts ist dabei die Bedingungsanalyse, die sich um die Untersuchung der Startbedingungen mit Blick auf die Lerngruppe, den Lehrenden und Umgebungsgrößen kümmert. Darüber hinaus sind vier Entscheidungsbereiche (Begründungszusammenhang, thematische Strukturierung, Zugangs- und Darstellungsmöglichkeiten und methodische Strukturierung) formuliert, die in wechselseitiger Beziehung zur Bedingungsanalyse stehen. So wird im Bereich des Begründungszusammenhangs etwa die gegenwärtige, zukünftige und auch exemplarische Bedeutung eines Inhalts/Themas erörtert oder im Bereich der Zugangs- und Darstellungsmöglichkeiten der Einsatz von Medien betrachtet.

Hoidn führt positive und negative Aspekte der kritisch-konstruktivistischen Didaktik auf. Sie hebt insbesondere die erweiterte Betrachtung des Bildungsbegriffs, die Miteinbeziehung des Lernbegriffs und die Öffnung der streng geisteswissenschaftlich ausgerichteten Didaktik gegenüber anderen wissenschaftstheoretischen Positionen als vorteilhaft heraus (vgl. HOIDN (2010), S. 118). Als Kritikpunkt wird angeführt, dass die „strukturellen Unterschiede der einzelnen wissenschaftstheoretischen Positionen durch die Integration in einen geistes-

wissenschaftlich orientierten Ansatz“ (HOIDN (2010), S. 119) vernachlässigt werden .

3.2.2 Die lerntheoretische Didaktik

Die lerntheoretische Didaktik, das sogenannte Berliner Modell, wurde von Paul Heimann auch in Abgrenzung zur bereits beschriebenen bildungstheoretischen Didaktik Klafkis entworfen, 1962 in seiner Arbeit „Didaktik als Theorie und Lehre“ veröffentlicht (HEIMANN (1962)) und darüber hinaus von Gunter Otto und Wolfgang Schulz geprägt. Schulz, als ehemaliger Mitarbeiter Heimanns, hat das genannte Modell aufgegriffen und zur lehrtheoretischen Didaktik (Hamburger Modell) geformt. Das Berliner Modell wird hier betrachtet, da es das in der Praxis weitaus verbreitetere Modell darstellt.

Im Zentrum der Theoriebildung steht hier der Lernbegriff, weil dieser zum einen schlicht durch die Vermeidung von Diskussionen, zum anderen neutral durch nicht bereits vordeterminierte Inhalte und zudem umfassend, da alle Prozesse des Unterrichts abdeckend, ist (vgl. PETERSEN (2001), S. 42). Die lerntheoretische Didaktik stellt ein Entscheidungsmodell dar, das auf empirischer Grundlage eine Planung und Analyse des Unterrichts durch Berücksichtigung relevanter und einflussnehmender Faktoren und damit einen zielgerichteten Lehr-Lernprozess möglich machen soll. Ansatz des Berliner Modells ist es den „Unterricht in seinen vielfältigen Bedingungsbeziehungen und Ausformungen“ (KRON et al. (2014), S. 93) erklärbar zu machen.

Das Berliner Modell setzt sich aus zwei Reflexionsebenen – der Strukturanalyse und der Faktoranalyse – zusammen. Mit Blick auf die Strukturanalyse (vgl. HEIMANN (1962), S. 415 ff.), dem Kernstück des Berliner Modells, benennt Heimann sechs „Elementar-Strukturen“, auch „formale Konstanten“ genannt, des Lehr-Lernprozesses und teilt diese in Entscheidungs- und Bedingungsfelder ein (siehe Abbildung 3.6).

Die Gestaltung der Entscheidungsfelder liegt in der Hand des Lehrenden. Diese beziehen sich auf Intentionen (Ziele/Absichten), Inhalte, Methoden und Medien des Unterrichts. Dabei hat der Lehrende aber die gegebenen Bedingungen, anthropologische und soziokulturelle Voraussetzungen (siehe hierzu auch Ta-

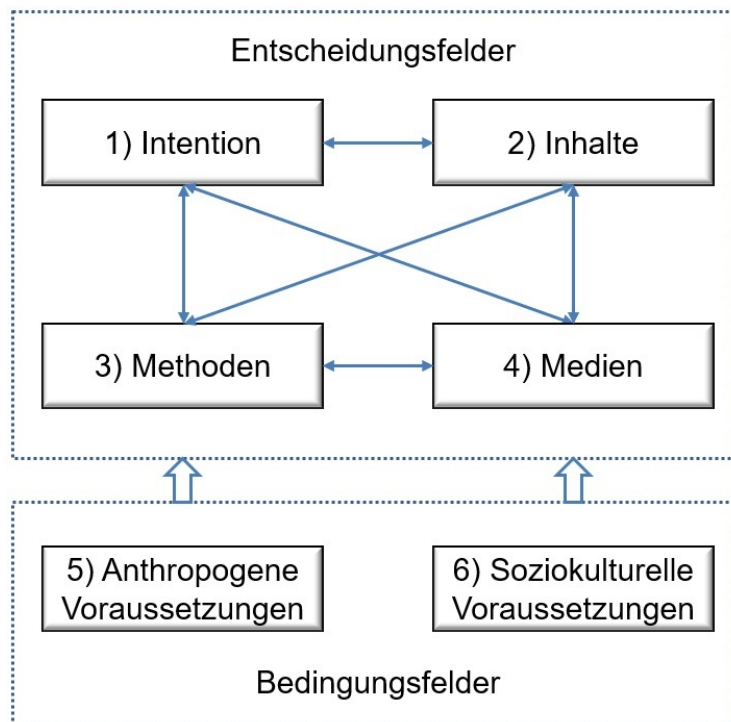


Abbildung 3.6: Strukturanalyse der lerntheoretischen Didaktik (in Anlehnung an JANK und MEYER (2011), S. 271)

belle 2.1, S. 37) zu berücksichtigen. Die genannten Elemente stehen dabei in wechselseitigen Beziehungen, sind also interdependent, sollen so geplant und gestaltet werden, dass auf unvorhergesehene Ereignisse (Schüler-, Lehrerverhalten, Medien, usw.) variabel reagiert und die Einhaltung der vorgesehenen Entscheidungen kontrolliert werden kann (vgl. SCHULZ ZUR WIESCH (2013), S. 28).

Die Faktoranalyse dient der Ermittlung von auf den Unterricht wirkenden Faktoren. Diese sind unterteilt in normierende (gesellschaftliche Mächte, ideologischer Druck), konditionierende (Wissenschaften, Bildungswesen, ...) und organisierende Faktoren (überlieferte Modelle und Methoden) (vgl. REICH (1979), S. 91).

Der Vorteil des Berliner Modells liegt in der Bereitstellung eines umfassenden Analyserahmens, innerhalb dessen es Lehrenden möglich ist didaktische Entscheidungen unter Berücksichtigung individueller und sozialer Voraussetzungen in eigener Verantwortung zu treffen (vgl. PETERSEN (2001), S. 55 ff.). Mit einschränkendem Blick auf die erste Reflexionsstufe der Strukturanalyse

lyse lässt sich das Berliner Modell noch einfach nachvollziehen, allerdings ist sein Nutzen jedoch aufgrund der ursprünglichen Konzeption als Unterrichts-analysemodell zur Planung von Unterricht umstritten (vgl. JANK und MEYER (2011), S. 275).

3.2.3 Die konstruktivistische Didaktik

Basierend auf konstruktivistischen Lerntheorien hat sich die sogenannte konstruktivistische Didaktik entwickelt. Dabei ist der Begriff „konstruktivistische Didaktik“ nach Wissen von Ewald Terhart zuerst von Horst Siebert im Jahr 1994 und danach von Ernst von Glasersfeld, Klaus Müller und Kersten Reich benutzt worden (vgl. TERHART (1999), S. 631). Mit Blick auf die gemäßigte und die radikale Strömung des Konstruktivismus stellt Terhart fest, „daß in didaktischen Kontexten der Konstruktivismus nie in seiner radikalen Form, sondern immer schon als ein gemäßigter, moderater vertreten wird“ (TERHART (1999), S. 637). Demnach soll hier im weiteren Verlauf auch eine gemäßigte konstruktivistische Didaktik Gegenstand der Betrachtung sein, deren Entwicklung auch in Verbindung mit Ansätzen wie beispielsweise dem *cognitive apprenticeship*, *anchored instruction* oder *communities of practice* aus dem englischen Sprachraum stehen (vgl. REICH (2005), S. 186).

Im Mittelpunkt konstruktivistischer Lerntheorien steht der Lernprozess als ein individueller, selbstorganisierter Prozess der Konstruktion von Wissen. Aus gemäßigter konstruktivistischer Perspektive werden Handlungsempfehlungen angeboten, um diesen Konstruktionsprozess zu fördern. Diese werden dadurch gerechtfertigt, dass zum einen eine fundierte Wissensbasis existiert und der Lernende den Prozess des Lernens lernen muss, um damit Wissen effektiver und effizienter konstruieren zu können (vgl. HOIDN (2010), S. 124).

Reinmann und Mandl bezeichnen ihre Sicht auch als wissensbasierten Konstruktivismus, in dem ein Lernprozess möglich ist, wenn eine adäquate Wissensbasis vorhanden ist, deren Aufbau instruktionale Anweisung und Förderung erfordert (vgl. REINMANN und MANDL (2006), S. 638). Dem Lernenden kommt dabei eine aktive Rolle zu. Er steuert den Lernprozess selbst und konstruiert in Abhängigkeit seines Vorwissens und seiner Erfahrungen Wissen.

Dieser Prozess wird von Emotionen beeinflusst, benötigt darüber hinaus den sozialen Austausch und erfolgt in einem bestimmten Kontext. Reich macht sich in seiner These dafür stark, den Lernenden aus konstruktivistischer Sicht als so zentral zu betrachten, „dass dieser auch als eigener Didaktiker erscheint“ und die Didaktik somit „nicht mehr ein normatives Konstrukt mit methodischen Tipps und Regeln für Lehrende ist“ (REICH (2005), S. 187).

Der Lehrende soll dem Lernenden eine Orientierung geben und diesen dabei abhängig von konkreten individuellen Lernvoraussetzungen unterstützen ein „sinnerfülltes“ Lernen zu erfahren. Bedeutend ist dabei eine nicht nur in Abhängigkeit individueller Ausgangsbedingungen des Lernenden, sondern auch bezüglich der Fortschritte dosierte „kognitive Qualität der Unterstützung“ von Lernprozessen durch den Lehrenden (vgl. DUBS (1997), S. 341). Die Beziehung zwischen Lehrenden und Lernenden, aber auch die Beziehung zwischen den Lernenden, ist in diesem Prozess von großer Bedeutung. Mit Blick auf die Beziehung zwischen Lehrenden und Lernenden ist insbesondere eine Balance zwischen Instruktion durch Lehrende und Konstruktion durch Lernende erstrebenswert (vgl. REINMANN und MANDL (2006), S. 639). Das soll auch durch Abbildung 3.7 verdeutlicht werden.

Der wissensbasierte Konstruktivismus „verbindet eine kognitivistisch gefärbte, vom Primat der *Instruktion* und einer aktiven Lehrerposition getragene Auffassung mit Elementen einer konstruktivistisch getönten, vom Primat der *Konstruktion* und aktiven Lernerrolle bestimmten Gestaltung der Lernumgebung“ (BEYEN (2003), S. 110). Beyen nennt Aspekte, auf die sich die Frage nach der Bestimmung des Gleichgewichtes zwischen instruktionaler und konstruktivistischer Gestaltung beziehen kann (vgl. BEYEN (2003), S. 118). Genannte Aspekte sind

- „die *Hilfeleistung* durch den Lehrenden, um Überforderungen insbesondere schwächerer Schüler zu vermeiden“,
- „die *Lernmotivation*“,
- „die zu erwerbende *Wissensart*“ und
- „die zur Verfügung stehende *Unterrichtszeit*“ (BEYEN (2003), S. 118).

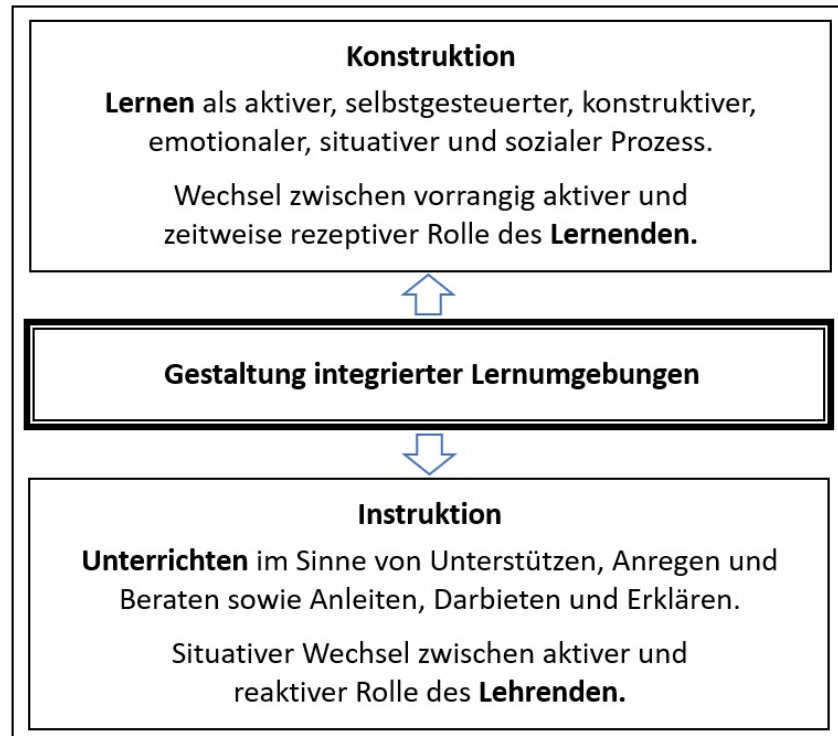


Abbildung 3.7: Die Balance zwischen Konstruktion und Instruktion (in Anlehnung an MANDL (2004), S. 48)

Dubs führt sieben Merkmale auf, um den konstruktivistischen Unterricht und Lernprozess zu umschreiben, die nachfolgend zusammengefasst aufgeführt werden (vgl. DUBS (1995), S. 890 f.):

1. Der Unterricht muss sich an „*komplexen, lebens- und berufsnahen, ganzheitlich zu betrachtenden Problembereichen* orientieren“ (DUBS (1995), S. 890). Dabei soll die Realität dem Unterricht als Basis dienen.
2. Das Lernen ist als ein aktiver Prozess zu betrachten, in dem basierend auf individuellem Vorwissen und Erfahrungen neues Wissen und Können gewonnen, d. h. konstruiert wird. Dies ermöglicht anspruchsvolles Denken.
3. Einem gemeinschaftlichen Lernen ist innerhalb der Lernprozesse große Bedeutung zuzumessen, da durch den Diskurs individueller Interpretationen, die eigene Interpretation überdacht und/oder gewonnene Erkenntnisse auch neu strukturiert werden.

4. Auf die Bedeutung von Fehlern ist zu achten. In der Diskussion von Fehlern und der Auseinandersetzung mit diesen wird das Verständnis gefördert und Konstruktion von Wissen verbessert.
5. Lerninhalte sind auf individuelle Voraussetzungen, Erfahrungen und Interessen auszurichten, um herausfordernd für den Einzelnen zu sein.
6. Auch *Gefühle* und die *persönliche Identifikation* mit Lerninhalten sind für den Lernprozess von Bedeutung, „denn kooperatives Lernen, der Umgang mit Fehlern in komplexen Lernsituationen, Selbststeuerung und das dem Lernen Dienstbarmachen der Eigenerfahrung verlangen mehr als nur Rationalität“ (DUBS (1995), S. 891).
7. Im Vordergrund steht die individuelle Konstruktion und nicht Reproduktion von Wissen, deshalb ist auch die eigene Bewertung der Entwicklung des Lernprozesses von Bedeutung.

Abschließend kann festgehalten werden, dass auch der hier insbesondere beschriebene balance-schaffende Ansatz einer konstruktivistischen Didaktik Kritik erfährt, überwiegend aus radikal konstruktivistischen Strömungen. Doch vorwiegend die gegenüber radikal konstruktivistischen Ansätzen tragfähigere empirische Basis und die Betrachtung eingeschränkter zeitlicher Ressourcen sprechen für eine auf dem wissensbasierten Konstruktivismus basierende Vorgehensweise (vgl. BEYEN (2003), S. 111).

3.3 Übertragung der allgemeinen pädagogisch-didaktischen Grundlagen auf mediale Lernformen

Die Aufarbeitung und Übertragung pädagogisch-didaktischer Grundlagen auf digitale Formate des Lehrens und Lernens erfolgt in der Disziplin der Medienpädagogik und dort insbesondere in der Teildisziplin der Mediendidaktik (vgl. KERRES (2005), S. 214 f.). Der Inhalt der Mediendidaktik geht aber weit darüber hinaus. Die Medienpädagogik steht „als übergeordnete Bezeichnung für alle pädagogisch orientierten Beschäftigungen mit Medien in Theorie und Praxis“ (ISSING (1987), S. 24). Sie steht im Austausch mit der Allgemeinen

Pädagogik, der Didaktik, der Psychologie oder auch der Soziologie. Die Medienpädagogik selbst beinhaltet wiederum zwei Teildisziplinen, zu denen neben der Medienerziehung auch die Mediendidaktik zählt (siehe Abbildung 3.8).

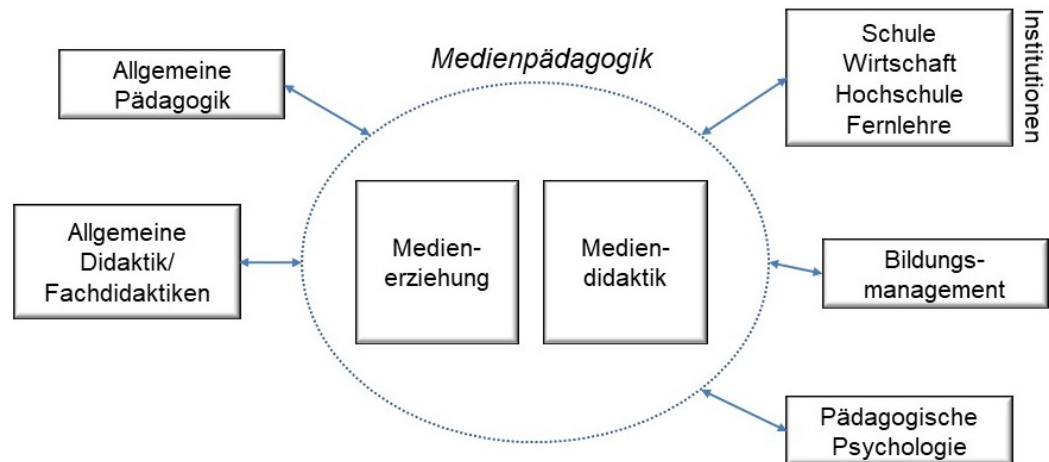


Abbildung 3.8: Medien als Thema der Pädagogik (in Anlehnung an KERRES (2001), S. 26)

Während sich die Medienerziehung um einen überlegten, kreativen und sinnvollen Umgang mit Medien kümmert, beschäftigt sich die Mediendidaktik mit Funktion, Bedeutung und Einsatz von Medien in Lehr- und Lernprozessen. Dabei werden Voraussetzungen und Wirkungen des mediengestützten Lehrens und Lernens untersucht und Gestaltungsempfehlungen für die Konzeption, Entwicklung und Einführung medialer Lernarrangements formuliert (vgl. KERRES (2018), 52). Kerres und Kalz bezeichnen diese beiden Teildisziplinen als zwei Seiten einer Medaille – auf der einen Seite die kompetente Nutzung von Medien und auf der anderen Seite deren Einsatz für Bildungsziele (vgl. KERRES und KALZ (2003), S. 410 f.).

Kern der Mediendidaktik sind organisierte Lehr- und Lernprozesse mit und durch Medien. Sie kann als „Wissenschaft und Praxis vom Lehren und Lernen mit und über Medien“ (DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 12) betrachtet werden. Die Mediendidaktik ist stark von neuen Entwicklungen der Medien- und Computerindustrie geprägt (vgl. KERRES (2008), S. 116). Sie stützt sich auf Erkenntnisse der empirischen Lehr-/Lernforschung über das Lehren und Lernen mit Medien. Für die Ermittlung und Formulierung von Zielen und Inhalten von Lehrangeboten findet der Austausch mit der Allgemeinen Pädagogik und der Allgemeinen Didaktik statt. Einfluss auf Fragen der Medienge-

staltung und Medienverwendung hatten und haben dabei auch die in Abschnitt 3.1 auf Seite 77 ff. betrachteten behavioristischen, kognitionstheoretischen und konstruktivistischen Theorien (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 47).

Im Mittelpunkt stehen Medien (und durch Entwicklungsprozesse auch immer wieder neue Medien) und deren Verwendung für den Lehr- und Lernprozess, um einerseits die Vielfalt von Lehr-/Lernangeboten zu steigern und einer möglichst großen Anzahl an Personen verfügbar zu machen. Andererseits existiert natürlich auch der Anspruch, dadurch neue Qualitäten, die stark von der Durchführung abhängen (vgl. KERRES (2008), S. 117), des Lehrens und Lernens zu realisieren und damit einen Mehrwert zu schaffen. Dabei stellt sich auch die Frage nach dem sinnvollen Einsatz von Medien, um Lehr- und Lernziele nicht nur effektiv, sondern auch effizient erreichen zu können (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 12). Zu Bedenken gilt es aber, dass die Potentiale neuer Medien nicht allein durch ihren Einsatz entstehen, sondern dazu ein geeignetes didaktisches Konzept, basierend auf einer mediendidaktischen Planung und Analyse mit Kenntnis von Rahmenbedingungen und Lernsituation erforderlich ist (vgl. KERRES (2008), S. 118 f.).

Aus zwei konträren Positionen mit der Bildungstheorie auf der einen Seite, nach der Wissen nicht „vermittelt“ werden kann, sondern Selbstbildung ist und nach der Lehren als Kunst betrachtet wird und der kybernetischen Pädagogik auf der anderen Seite nach der Wissen durch systematische Anwendung technologischer Erkenntnisse vermittelt werden kann, entstand eine vermittelnde Position, die Lehren mit der Gestaltung von Lernangeboten gleichsetzt und dabei Forschungsergebnisse über das Lehren und Lernen nutzt.

Mediendidaktik wird hier als präskriptiver Zugang zur Bildungsforschung verstanden, der in verstärktem Ausmaß auch theoriebildend (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 125) ist und all das beinhaltet, was bei der Konzeption, der Planung und Entwicklung mediengestützter Lernangebote zu tun ist. Dieser Prozess der Konzeption und Umsetzung ist als komplexe Gestaltungsaufgabe zu erkennen, die es an bestimmten Parametern des didaktischen Bereichs auszurichten gilt (vgl. KERRES (2008), S. 120).

Lernszenarien für das Lernen in vernetzten, interaktiven, computerbasierten Lernumgebungen werden letztendlich von methodisch-didaktischen und technisch-organisatorischen Komponenten bestimmt (vgl. MAGENHEIM (2004), S. 257). Die systematische Planung solcher Angebote ist maßgeblich in Instructional-Design-Modellen, die insbesondere in den USA entwickelt und beschrieben worden sind, zu finden (vgl. KERRES (2001), S. 322). Diesen Modellen wird in Abschnitt 4.1, S. 123 ff. dieser Arbeit weitere Beachtung geschenkt.

Hauptsächlich durch E-Learning und der dabei stattfindenden Berücksichtigung lern- und kommunikationswissenschaftlicher Erkenntnisse findet eine Erweiterung und auch Veränderung der Mediendidaktik statt (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 11). Im folgenden Abschnitt wird dazu der Begriff des E-Learnings betrachtet. Danach werden einige verbreitete Formen des E-Learnings beschrieben.

3.4 Formen des E-Learnings als multimediale Lernsysteme

E-Learning (electronic learning) ist ein Sammelbegriff für alle Varianten der Verwendung digitaler Medien für Lehr- und Lernzwecke (vgl. KERRES (2018), S. 6). Inbegriffen sind dabei verschiedene Geräteklassen (Desktop-PC, Notebook, Tablet, Smartphone, ...) mit entsprechenden Peripheriegeräten (Beamer, digitale Tafel, ...) sowie sämtliche Technik zur Aufnahme und Wiedergabe von Medien (vgl. KERRES (2018), S. 6). E-Learning vollzieht sich also genau dann, wenn der Prozess des Lernens bewusst durch multimediale und kommunikative Technologie unterstützt und begleitet wird. Gegenüber bisherigen traditionellen Ansätzen bietet Lernen mit digitalen Medien unter anderem eine höhere Flexibilität bezüglich Zeit und Ort des Lernens.

3.4.1 Lernsoftware als Kernelement des E-Learning

Nach einer engeren Definition von E-Learning „ist e-Learning also etwas wie ein übergeordneter Begriff für softwareunterstütztes Lernen – softwaregestützt deshalb, weil das Endgerät keine besondere Rolle (mehr) spielt (heute ist es der Computer, morgen vielleicht das Handy)“ (REINMANN-ROTHMEIER (2003), S. 31).

Mit der Hervorhebung des Begriffs der (Lern)-Software soll sichergestellt werden, dass nicht die Hardware für die Untersuchung, Gestaltung und Organisation des Lernprozesses von entscheidender Bedeutung ist, sondern vielmehr eben die Gestaltung der Software im Mittelpunkt der Betrachtung zu stehen hat. Dabei soll der Fokus nicht auf Aspekten der Informatik wie Robustheit, Fehlerfreiheit, programmtechnischen Standards und dergleichen, die sicherlich auch große Auswirkungen auf die pädagogische Qualität von Software haben (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 427), liegen, sondern auf didaktischen Komponenten.

Zunächst soll die Unterscheidung zwischen den Begriffen der Bildungs- und der Lernsoftware betrachtet werden, bevor Definitionen des Begriffs der Lernsoftware aufgeführt werden, um die Besonderheiten und deren Bedeutung herauszustellen.

Unter Bildungssoftware werden generell alle Formen von Software verstanden, die bildenden Einfluss haben können. Sie inkludiert letztendlich damit auch Lernsoftware, die speziell für Lehren und Lernen vorgesehen ist. Nach Magenheim impliziert Lernsoftware „eine in ihr vergegenständlichte Abfolge von Interaktionen und Rückmeldungen mit den Nutzern, die unter didaktischen und lerntheoretischen Erwägungen implementiert wurde“ (MAGENHEIM (2004), S. 258). Baumgartner und Payr verstehen unter Lernsoftware Software, „die eigens für Lehr- und Lernzwecke programmiert wurde“ (BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 137), dabei „spiegelt Lernsoftware – angefangen vom behandelten Thema über den Aufbau des Softwarepaketes bis hin zur Benutzeroberfläche - ein pädagogisches und didaktisches Modell wider, das in ihr implementiert wurde“ (BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 137). Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Lernsoftware zielgruppenorientiert ist, ein theoretisch

ches Lernmodell beinhaltet und mit einem methodischen/didaktischen Konzept arbeitet. Sie soll komplexe Sachverhalte strukturieren, abstrakte Sachverhalte veranschaulichen und in interaktiver Weise einen motivierenden, selbstgesteuerten Ansatz zu aktivem und effizientem Lernen bieten.

Das Aufkommen von Lerntheorien und -konzepten ist eng mit technischen Entwicklungen verbunden. So sind erste Entwicklungen von Lernsoftware durch behavioristische Lerntheorien geprägt (vgl. KERRES (2001), S. 55). Burrhus F. Skinner war der Meinung, dass Computer und Lernprogramme das Lernen „konsequenter und effektiver“ (KERRES (2001), S. 55) machen „und der Unterricht dadurch wiederholbar und objektiver werde“ (DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 49). Die klassische Lernsoftware präsentiert die Inhalte in kurzen Abschnitten mit überwiegend linearer Abfolge und stellt dazu Testfragen mit üblicherweise direktem Feedback. Diese in die Rubrik Computer-Based-Training (CBT) fallende Anwendung wird aufgrund ihrer Vorgehensweise auch als „Drill & Practice“- oder „Drill & Test“-Software bezeichnet (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 154). CBT findet dabei lokal auf Computern ohne Internetanbindung statt. Im Unterschied dazu steht Web-Based-Training (WBT) für Anwendungen, die auf einem Server abgelegt sind und über das Internet bearbeitet werden.

Aufgrund des linearen Aufbaus und der damit verbundenen mangelnden Flexibilität ist Drill & Practice-Software häufig auf das Erreichen einfacher Lehr-/Lernziele ausgelegt. Typische Beispiele sind hier etwa Anwendungen zum Lernen von Vokabeln, Rechenaufgaben oder Grammatik. Es sind aber auch durchaus Anwendungen mit komplexen Lehrzielen zu finden, in denen der Lernweg in sehr viele kleine, aufeinanderfolgende Teilschritte zerlegt ist (vgl. TULODZIECKI (1997), S. 59). Drill & Practice-Anwendungen sind in der Praxis weit verbreitet, was überwiegend daran liegt, dass sie programmtechnisch verhältnismäßig einfach realisierbar sind (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 155). An deren weiter Verbreitung hat sich auch bis heute nicht viel verändert.

Die theoretische Fundierung für CBTs durch den Behaviorismus ist mittlerweile jedoch in Frage gestellt worden, da nach Burrhus F. Skinners Vorstellungen entwickelte Produkte richtige Reaktionen auf Fragen verstärken, das Ziel aber nicht im Einprägen von Reaktionen, sondern in der Schaffung von Wissen,

das auch in anderen Zusammenhängen anwendbar ist, liegt (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 50). Da das Einüben bestimmter Fertigkeiten mitunter auch von großer Bedeutung sein kann, können CBTs oder ähnliche Produkte bei entsprechender Ausgestaltung durchaus eine positive Rolle im Lernprozess einnehmen (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 154 f.).

Mit der kognitiven Wende und der vordergründigen Betrachtung interner Prozesse der Informationsverarbeitung ist die Entwicklung sogenannter Tutorensysteme und auch Intelligenter Tutorieller Systeme (ITS) verbunden. Im Gegensatz zur autoritären Rolle in Drill & Practice Anwendungen übernimmt die Software hier die Rolle des Tutors. Dabei steht nicht Faktenwissen, sondern das Vermitteln, Einüben und Überprüfen von Regeln und deren Anwendungen, also prozedurales Wissen mit entsprechend großem didaktischen Anspruch im Mittelpunkt (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 158). Intelligente Tutorielle Systeme ziehen aus Eingaben des Nutzers Rückschlüsse auf dessen Wissensstand und dessen Kompetenzentwicklung und passen das Lernangebot, Lernweg und eventuell auch die Lernumgebung auf die kognitiven Prozesse an (vgl. KERRES (2001), S. 71).

Eine Diagnose des Wissensstands muss verschiedene Fehlertypen feststellen können, in der Lage sein Rückschlüsse daraus ziehen zu können, beurteilen können, wie das damit in Verbindung stehende Verständnisproblem geartet ist und in Abhängigkeit davon eine entsprechende tutorielle Strategie ermöglichen (vgl. KERRES (2001), S. 71 f.). Intelligente Tutorielle Systeme müssten dabei auch Wissen über Lehren und Lernen enthalten (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 161). Diese Vorgehensweise ist mit sehr hohem Aufwand mit Blick auf die Konzeption und auch die technische Umsetzung verbunden.

Der Vorteil gegenüber CBT-Software mit starren Lernwegen soll aber insbesondere in individuell auf kognitive Lernprozesse angepassten Lernangeboten und Lernwegen liegen. In diesem Bereich wird mitunter nach und nach auch mit künstlicher Intelligenz gearbeitet. Im Mittelpunkt steht dabei aber stets die in behavioristischen und kognitivistischen Lerntheorien verankerte Annahme der externen Steuerbarkeit von Lernprozessen.

Im Gegensatz zu den bisherigen Varianten, die üblicherweise auf expositorischen Instruktionsansätzen basieren, existieren Varianten, die auf explorativen Ansätzen beruhen und dabei zwar die Lehrinhalte in adäquater Art und Weise strukturiert anbieten, die Wahl des Lernwegs aber dem Lernenden selbst überlassen (vgl. KERRES und GORHAN (1999), S. 3 f.). Selbststeuerbare Lernprozesse und weitere konstruktivistische Grundsätze sind unter anderem in Simulationssoftware, Mikrowelten und hypermedialen Systemen möglich und zu finden (vgl. KERRES und GORHAN (1999), S. 4 oder auch DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 56). Um Desorientierung und Überforderung aufgrund fehlender Betreuung, Anleitung oder Unterstützung entgegenzuwirken, nimmt die Software in vielen Fällen gemäß der Position der gemäßigt-konstruktivistischen Didaktik eine begleitende und kooperierende Rolle ein (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 54).

Bei einer Simulation werden „komplexe Situationen, Strukturen oder Prozesse in einem wirklichkeitsnahen Modell abgebildet“ (BONZ (2009), S. 129). Die real gegebenen Situationen werden transformiert, wodurch eine simulierte Wirklichkeit als Lernumgebung entsteht, die auch die Reduktion von Komplexität möglich macht (vgl. MANSFELD (2013), S. 28). Die Situationen beziehen sich dabei auf Sachverhalte aus einem bestimmten inhaltlichen Bereich (beispielsweise Wirtschaft, Biologie, Chemie, Meteorologie, ...), die durch mathematische und formal-logische Relationen beschrieben werden können (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 161).

Der Lernende kann in diesem Rahmen durch Anwendung bereits vorhandenen Wissens und durch Zurückgreifen auf bereits gemachte Erfahrungen durch Variieren von Parametern, die zumeist in vielschichtigen Beziehungen zueinander stehen, in einer bestimmten Situation agieren und die sich dadurch ergebenden Reaktionen und Veränderungen beobachten und wahrnehmen. Da die Situation somit auch ständigen Änderungen unterliegt, sind fortlaufend Interventionen und das Erkennen wechselseitiger Beziehungen erforderlich, um ein gewünschtes Resultat und damit einen bestimmten Zustand des Systems zu erreichen. Häufig werden in Simulationen auch sogenannte Szenarien vorgegeben. Dabei handelt es sich um vordefinierte Ausgangssituationen, in denen die veränderbaren Parameter in ihrer Auswahl eingeschränkt und/oder mit bestimmten Werten belegt sind (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 164). Bedeu-

tend im Umgang mit Simulationen ist insbesondere ein Verständnis für die Situation in ihrer Gesamtheit zu entwickeln und aus dieser auch Motivation zu ziehen (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 161 f.).

Als Beispiele für Simulationssoftware sind hier etwa Unternehmensplanspiele, Ökosystem- oder auch Flugsimulationen aufzuführen. Als oberstes Lernziel ist dabei die „Bewältigung komplexer Situationen auf dem Niveau von Gewandtheit oder Expertentum“ zu nennen (BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 162).

Nachdem in Simulationen eine gegebene Situation zu bewältigen ist, stellen Mikrowelten den Lernenden vor die Herausforderung, selbst eine solche Situation zu modellieren und dabei auch für sich selbst die eigenen Lernziele zu identifizieren und festzulegen (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 167). Der Begriff der Mikrowelten ist auf Seymour Papert zurückzuführen, der mit diesen dem Lernenden ermöglichen wollte, bestimmte schlagkräftige Ideen oder intellektuelle Fähigkeiten einzuüben und zu praktizieren (vgl. PAPERT (1980), S. 240). Der Prozess der Konstruktion von Wissen spielt sich dabei nicht nur im Kopf des Lernenden ab, sondern wird in eine virtuelle Welt projiziert. Als inhaltliche Bereiche, für die Mikrowelten zu finden sind, lassen sich neben Wirtschaft und Politik beispielsweise auch Medizin und Ökologie nennen.

In einer solchen Mikrowelt werden dann durch experimentelle Vorgehensweise unter Einsatz von Werkzeugen und unter Verwendung von Objekten der Mikrowelt, die festgelegte und veränderbare Eigenschaften haben, Situationen auf Basis des eigenen Wissens und der eigenen Fähigkeiten in einer dynamischen Umgebung geschaffen – und damit eine eigene „Welt“ konstruiert (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 167).

Eine einmal geschaffene Situation, d. h. die erfolgte Bildung eines Modells, kann dann wie in einer Simulation als Szenario betrachtet werden, in dem man sich mit der Durchführung experimenteller Veränderungen und Beobachtung der jeweiligen Auswirkungen befassen kann (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 169). Insgesamt betrachtet ist in Mikrowelten der Grad der Abstraktion, der Komplexität und auch der Autonomie jeweils höher einzustufen als in einer Simulation.

Hypermediale oder hypermedia-basierte Lernsysteme oder -umgebungen gründen auf dem durch die Verschmelzung der Wörter Multimedia und Hyperlinks betonten Grundgedanken der netzartigen, assoziativen Verknüpfungen von Text-, Audio-, Grafik- und Videoelementen und stehen damit auch in Verbindung mit der Entwicklung und zunehmenden Nutzung des Internets. Hypermediale Lernsysteme sind sehr vielseitig einsetzbar und für zahlreiche Wissensgebiete finden sich Anwendungen oder sind diese denkbar, so etwa im Bereich der Wirtschaft, Politik, Medizin, Biologie, Physik, Geschichte, um nur einige zu nennen.

Ein Hypermedia-System besteht in seiner inneren Struktur aus einer Menge von Knoten und Kanten (bzw. Pfeilen, da sie in der Regel gerichtet sind), die als Verbindungen zwischen den Knoten fungieren (vgl. NIELSEN (1990), S. 105 f.). Die in einem solchen sogenannten Hypergraphen vorhandenen Knoten verkörpern Informationen, die Kanten bzw. Pfeile stellen Verweise dar und werden Links oder Hyperlinks genannt. Liegen diese Informationen nun überwiegend in Textform vor, so handelt es sich um ein hypertextuelles System. Enthalten die Knoten darüber hinaus mediale Komponenten wie etwa Audio-, Grafik- oder Videoelemente, dann wird von Hypermedia-Systemen gesprochen (vgl. NIELSEN (1990), S. 5). Durch die Einbindung solcher Elemente findet eine Erweiterung der Konzeption von Hypertext zu Hypermedia statt (vgl. LANDOW (1992), S. 4). Technologisch betrachtet basiert die Differenzierung zwischen Hypertext- und Hypermediasystemen folglich auf verschiedenen Codierungsformen der verknüpften Informationen (vgl. TERGAN (2002), S. 100).

Die Definition des Begriffs Hypermedia geht nach Schulmeister jedoch über die technische Kombination, d. h. die Integration von Medien hinaus vgl. SCHULMEISTER (2007), S. 26). Diese ist dafür zwar eine notwendige, allerdings keine hinreichende Bedingung (vgl. SCHULMEISTER (2007), S. 26). Er fordert eine „*Sinndimension für das Lernen*“, das Aufweisen einer Funktionalität, die einen Mehrwert für das Lernen ergibt und der etwa durch die Visualisierung abstrakter Sachverhalte oder die dynamische Darstellung von Prozessen gebildet wird oder in durch die Lernumgebung angestoßenen kognitiven Konstruktionen und Interpretationen des Lernenden bestehen kann (vgl. SCHULMEISTER (2007), S. 26).

Charakteristisch für Hypermedia-Lernsysteme ist nun, dass sie in ihrem Aufbau nicht sequentiell sind, d. h. es existiert nicht nur eine Reihenfolge in der die verschiedenen Informationen oder Informationseinheiten abgerufen werden können (vgl. NIELSEN (1990), S. 1). Diese nichtlinearen Strukturen im Aufbau hypermedialer Lernsysteme ermöglichen dem Lernenden sich mitunter nahezu frei durch die Lerninhalte zu bewegen und so seinen eigenen, individuellen Lernweg zu gehen. Der Autonomie des Lernenden und damit der Selbststeuerung und Selbstorganisation des Lernprozesses durch diesen sind hier nahezu keine Grenzen gesetzt.

Doch insbesondere dabei sind auch die bereits erwähnten Gefahren einer Desorientierung (vgl. KUHLEN (1991), S. 125), die in diesem Zusammenhang auch häufig mit „lost in hyperspace“ (siehe. u. a. HAACK (2002), S. 130) bezeichnet wird, oder einer Überforderung aufgrund der Fülle an und der scheinbaren Unstrukturiertheit von Informationen („cognitive overload“) (siehe. u. a. TERGAN (2002), S. 109) nicht außer Acht zu lassen. Diesen kann allerdings mit anleitenden, betreuenden und/oder unterstützenden Elementen entgegengewirkt werden.

Um die Betrachtung der verschiedenen Typen von Lernsoftware abzurunden, lässt sich in Anlehnung an BAUMGARTNER und PAYR (1999) ein grober schematischer Zusammenhang zwischen „idealen“ Softwaretypen und dem ihnen jeweils zugrunde liegenden Lernparadigma herstellen. Damit kann Tabelle 3.1 auf Seite 84 um softwarespezifische Merkmale, die in der nachfolgenden Tabelle 3.2 aufgeführt sind, erweitert werden.

Kategorie	Behaviorismus	Kognitivismus	Konstruktivismus
Interaktion	starr vorgegeben	dynamisch in Abhängigkeit des externen Lernmodells	selbstreferentiell, zirkulär, strukturdeterminiert (autonom)
Programmmerkmale	starrer Ablauf, quantitative Zeit- und Antwortstatistik	dynamisch gesteuerter Ablauf, vorgegebene Problemstellung, Antwortanalyse	dynamisch, komplex vernetzte Systeme, keine vorgegebene Problemstellung
Paradigma	Lernmaschine	Künstliche Intelligenz	sozio-technische Umgebungen
Software-Strategie	lehren	beobachten, helfen	betreuen, kooperieren
„idealer“ Softwaretypus	Course-, Teachware, Computer Aided Instruction (CAI)	Computer Based Training (CBT), Tutorensysteme, Intelligente Tutorielle Systeme (ITS)	Simulationen, Mikrowelten, hypermediale Systeme

Tabelle 3.2: Lerntheorien und Softwaretypologie (in Anlehnung an BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 174)

3.4.2 Blended Learning und weitere Formen des E-Learning

Der Begriff des Blended Learning, häufig auch hybrides Lernen genannt, verbreitet sich etwa seit dem Jahr 2000 und bezeichnet die Kombination von mediengestützten Lernangeboten und herkömmlichen Elementen der Präsenzlehre. Durch hybride Lernarrangements ergeben sich Möglichkeiten, fortschrittliche didaktische Konzepte auch unter dem Aspekt der Effizienz erfolgreich umzusetzen (vgl. KERRES (2018), S. 418). Wichtig ist dabei eine inhaltliche und organisatorische Verzahnung der Elemente. Typische Bestandteile von Lernangeboten in hybriden Lernarrangements sind in Tabelle 3.3 zu finden.

Die Kombination aus Präsenz- und Online-Elementen in Blended Learning-Szenarien ermöglicht es, von den Vorteilen der jeweiligen Verfahren zu profitieren bzw. auch deren Nachteile zu umgehen. Mit der Kombination von Präsenz- und Online-Elementen wird zudem das Ziel verfolgt, möglichst hohe Effek-

*KAPITEL 3. PÄDAGOGISCH-DIDAKTISCHE GRUNDLEGUNG FÜR
DIE KONZEPTION VON LERNSOFTWARE*

Bestandteil	Traditionelle Varianten	Varianten mit Medien
Vortrag mit Diskussion	Vortrag im Hörsaal	Podcast, Video auf Abruf (Streaming), Videokonferenz
Selbstlernaktivität	Buch	interaktives Lernprogramm (online), Multimedia (DVD)
kooperatives Lernen	Partner- und Gruppenarbeit	Videokonferenz, Groupware-basierte Kooperation
tutoriell betreutes Lernen	Mentoren-Modelle	Online-Coaching, Tele-Tutoring
kommunikatives Lernen	Gruppenansätze (Team-Building, Gruppenfeedback, ...)	soziale Netzwerke, Chat-Räume, Diskussionsforen
Beratung	Einzelgespräche, Infoveranstaltungen	Beratung per E-Mail, FAQ-Liste, community-basierte Ansätze (peer-to-peer)
Tests	Klausur, mündliche Prüfung	computerbasiertes (adaptives) Testen

Tabelle 3.3: Typische Bestandteile von Lernangeboten in hybriden Lernarrangements (in Anlehnung an KERRES (2002), S. 3)

tivität und Effizienz zu erreichen (vgl. KERRES (2002), S. 1). Der Lernende kann auf digitale Lerninhalte seinen Wünschen entsprechend zugreifen und das nicht nur im Hinblick auf Zeit und Ort, sondern auch bezüglich der Häufigkeit. In den Präsenz-Elementen rücken dann die Interaktion und der unmittelbare Austausch zwischen Lehrenden und Lernenden in den Fokus (vgl. BECKMANN et al. (2018), S. 58).

Nicht abschließend geklärt ist, wie groß der Bestandteil von Online-Elementen in solchen Konzepten sein muss. Der Anteil scheint dabei aber nicht die entscheidende Größe zu sein, sondern vielmehr ist Wert auf didaktische und pädagogische Gestaltung sowie auf die Abstimmung zwischen den einzelnen Bestandteilen zu legen.

Mit Learning Communities, Open Online Courses, also webbasierte Kurse ohne Teilnehmerbeschränkung oder virtuellen Klassenzimmern, womit ein Online-

Medium für räumlich getrennte Lehrende und Lernende gemeint ist, können hier noch weitere verbreitete und bekannte Formen und Varianten des E-Learnings genannt werden. Auch könnte diese Aufzählung noch fortgeführt werden, allerdings soll hier nun die Eignung von E-Learning für das Erlernen von OR-Methoden im Mittelpunkt stehen.

3.5 Eignung von E-Learning für das Erlernen von OR-Methoden

Die in Abschnitt 3.4, S. 97 ff. aufgeführten Definitionen und betrachteten Formen zeigen die Vielfältigkeit in Ausprägung, Wandelbarkeit und Anwendbarkeit von E-Learning. Es bieten sich zahlreiche, mitunter auch immer wieder neue Möglichkeiten, Inhalte darzustellen, Interaktion, Animation und andere multimediale Anwendungen einzubauen. Mit Hilfe neuer Medien können Inhalte in einer Art und Weise aufbereitet und vernetzt verfügbar gemacht werden, die es dem Lernenden ermöglicht, seinen eigenen Lernweg zu gestalten und sich das vermittelte Wissen so nachhaltiger aneignen zu können. Daneben sorgen vielfältige Kommunikationsmöglichkeiten dafür, dass Lernen in regem Austausch mit Lehrenden und anderen Lernenden möglich ist.

Im Mittelpunkt des Interesses hat dabei stets der Lehr-/Lernprozess, und die Frage, ob Wissen, Fähigkeiten und Kompetenzen zielführend vermittelt werden können, zu stehen. Dazu sind Kriterien zu betrachten, anhand derer die Eignung von E-Learning beurteilt werden kann. Im Folgenden sollen daher zunächst allgemeine Kriterien angeführt werden, bevor diese dann speziell auf den Anwendungsfall von OR-Methoden bezogen werden.

3.5.1 Allgemeine Kriterien für die Eignung von E-Learning

In Abschnitt 3.1, S. 77 ff. wurden die Grundlagen des Lernens ausführlich betrachtet. Kurz wiederholt, bedeutet Lernen eine dauerhafte Änderung von Verhalten oder Wissen durch Erfahrung. Im Zentrum des Lernprozesses steht ein Bildungsproblem mit einer bestimmten Zielgruppe und Lernsituation, für die es Lehrziele zu spezifizieren und Lehrinhalte aufzubereiten gilt. Die Lerninhalte gilt es entsprechend didaktisch zu strukturieren und den Lernprozess

zu organisieren. Abbildung 3.9 veranschaulicht diese Elemente und deren Beziehungen im Rahmen eines Lernangebots.

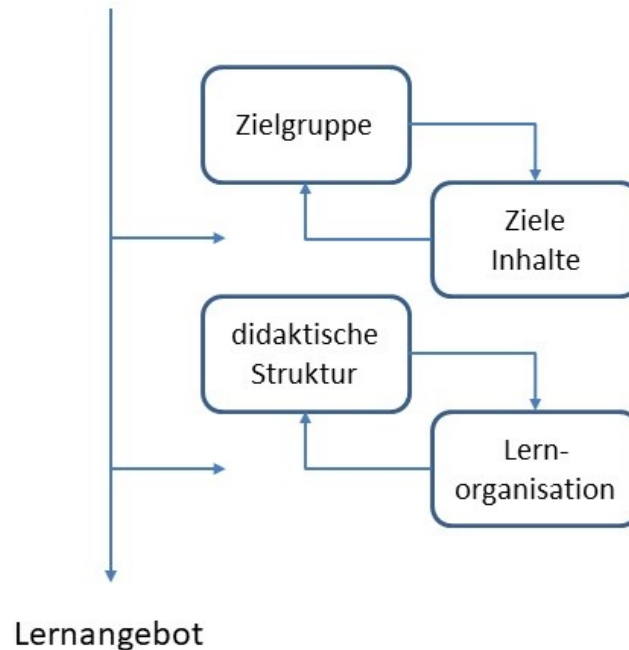


Abbildung 3.9: Mediendidaktische Analyse- und Entscheidungsfelder (in Anlehnung an KERRES (2001), S. 391)

Bedingungen für die Eignung von medialen Lernangeboten lassen sich an allen Elementen und auch an deren Verhältnissen zueinander festmachen.

Mit Blick auf die Rahmenbedingungen lässt sich zunächst die Bedingung nach adäquater technischer Ausstattung nennen. Der Lernende muss Zugriff auf entsprechende Hard- und Softwarekomponenten haben und je nach Ausgestaltung des Angebots über Netzwerk- und/oder Internetzugang mit ausreichender Geschwindigkeit verfügen. Das gilt natürlich auch für eventuell eingebundene Tutoren/Betreuer, doch bei der hier verfolgten lernendenorientierten Betrachtung soll die Zielgruppe im Vordergrund stehen.

Der Lernende sollte eine gewisse Erfahrung im Umgang mit den verwendeten Medien haben, eine Kompetenz im Umgang mit diesen aufweisen. Nach Baacke ist Medienkompetenz für die mediale Kommunikation und ein damit verbundenes Handeln erforderlich (vgl. BAACKE (1997), S. 55). Er führt hier das Konzept einer „medienbezogenen Handlungskompetenz“ (BAACKE (1997), S. 56) an. Medienkompetenz soll dazu „befähigen, die neuen Möglichkeiten

der Informationsverarbeitung auch souverän handhaben zu können“ (BAACKE (1997), S. 98), sich in der Welt der Medien orientieren und bewegen zu können. Aufenanger führt zur Konkretisierung und besseren Operationalisierung sechs zentrale Dimensionen der Medienkompetenz auf (vgl. AUFENANGER (1997), S. 19 f.). Für das Lernen mit neuen Medien werden hier insbesondere zwei dieser Dimensionen als besonders wichtig erachtet – die kognitive Dimension und die Handlungsdimension.

Die erstgenannte Dimension „bezieht sich u. a. auf Wissen, Verstehen und Analysieren im Zusammenhang mit Medien“ (AUFENANGER (1997), S. 19). In dieser Dimension geht es um grundlegende Kenntnisse in und um Medien und Mediensystemen. Kern ist das Verständnis über verwendete Symbole und Codierungen und die analytische Betrachtung von Medien und deren Inhalten.

„Mit Medien gestalten, sich ausdrücken, informieren oder auch nur experimentieren bestimmt die Handlungsdimension“ (AUFENANGER (1997), S. 20). Hier geht es um Fähigkeiten, die über den reinen Konsum von Medien hinausgehen. Zentral sind dabei neben der richtigen Handhabung von Medien (so erfordert beispielsweise die Betrachtungen von Websites durch die Verwendung von Links ein Denken in vernetzten Strukturen) auch gestalterische Aspekte, die bezogen auf verschiedene Medien selbst erlernt werden müssen.

In konventionellen Formen der Präsenzlehre werden Informationen präsentiert und Kommunikationsprozesse angeregt. Inhalte werden zwischen Personen ausgetauscht. In ursprünglicher Form findet beim Lernen mit Medien eine Interaktion zwischen Lernendem und Medium statt. Diese Variante ist „in den meisten Fällen zunächst ein autodidaktisches Lernen“ (KERRES (2001), S. 300). Das Prinzip des autodidaktisches Lernen erfordert nach MANDL und FRIEDRICH (1992) folgende Aktivitäten (vgl. KERRES (2001), S. 300):

- Das Lernen muss gegen andere Handlungen abgegrenzt werden („Lernkoordination“).
- Das Lernen an sich muss organisiert werden („Lernorganisation“).
- Es muss eine Beschäftigung mit den Lerninhalten stattfinden („Informationsverarbeitung“).

Der Lernende muss demnach insbesondere in erhöhtem Maß in der Lage sein, den eigenen Lernprozess selbst zu organisieren, Sachverhalte zu strukturieren und einzuüben. Die damit verbundene Selbststeuerung und die erforderliche Lernkompetenz auch im Hinblick auf die Wahl des eigenen Lernweges und -tempo stellen wesentliche Bedingungen für das Lernen mit Medien dar, werden durch diese aber auch unterstützt (vgl. GETTO und KERRES (2018), S. 17).

Der höhere Grad an Eigeninitiative und Selbstdisziplin ist dabei auch in Verbindung mit der Motivation zu betrachten. Förderlich ist hier, wenn das Lernangebot mit entsprechendem Lernziel oder -zielen zu den eigenen Bedürfnissen passt oder die Auseinandersetzung mit dem Medium selbst motivierend ist. Der Motivationszuwachs, der sich durch den Einsatz neuer Medien ergeben kann, ist häufig aber nur von kurzer Dauer (vgl. KERRES et al. (2002), S. 131). Auch wirkt ein weiterer Effekt, der durch den Einsatz neuer Medien eintreten kann, in die falsche Richtung. Wird ein Lernangebot als zu unterhaltsam erlebt, kann das zu einer Reduzierung der mentalen Anstrengung und damit zu einer geringeren Lernleistung führen (vgl. KERRES et al. (2002), S. 131).

Für diese autodidaktische Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand, also Aufnahme und Verarbeitung der Informationen, muss sich der Lernende durch höhere intrinsische Motivation auszeichnen und gewisse Lernfertigkeiten und -erfahrungen mitbringen. Diese sind mitunter auch den in Tabelle 2.2 auf Seite 38 angeführten kognitiven, emotionalen und motivationalen Lernvoraussetzungen zuzuordnen. Auf einen bestimmten Wert festsetzen lassen sich viele dieser Faktoren nicht, da sie sich in ihrer Notwendigkeit für unterschiedliche E-Learning-Szenarien unterscheiden und die Lehrinhalte und -ziele darauf auch entscheidenden Einfluss haben.

Nach den zielgruppenbezogenen Kriterien sollen nun Kriterien bezüglich der Lehrinhalte und -ziele betrachtet werden, die einer Beurteilung im Hinblick auf die Eignung von E-Learning dienlich sein können.

Typischerweise werden die folgenden drei inhaltlichen Arten von Taxonomien bei Lehrzielen unterschieden (vgl. etwa KERRES (2001), S. 155):

- Kognitive Taxonomien
 - umfassen Lehrziele, die „das Wissen über Fakten, Konzepte, Regeln, Prozeduren oder Prinzipien“ (KERRES (2001), S. 155) beschreiben.
- Affektive Taxonomien
 - beinhalten Lehrziele, die sich auf Interessen, Einstellungen, Motive und Gefühle sowie die Fähigkeit, das eigene Verhalten an moralischen Werten zu orientieren, beziehen.
- Psychomotorische Taxonomien
 - beziehen sich auf Lehrziele, die auf „die Beherrschung von Bewegungsabläufen und komplexen Verhaltensweisen“ (KERRES (2001), S. 155) mit ihren grob- und feinmotorischen Gegebenheiten fokussieren.

Zur systematischen Klassifikation der kognitiven Lehrziele hat Benjamin Bloom diese in 6 Stufen gegliedert (vgl. BLOOM (1976), S. 31). Die Stufen bilden eine Taxonomie derart, dass jede nachfolgende Stufe als Voraussetzung auch immer die Fähigkeiten der vorangegangenen Stufen umfasst (vgl. BLOOM (1976), S. 130) und siehe Abbildung 3.10).

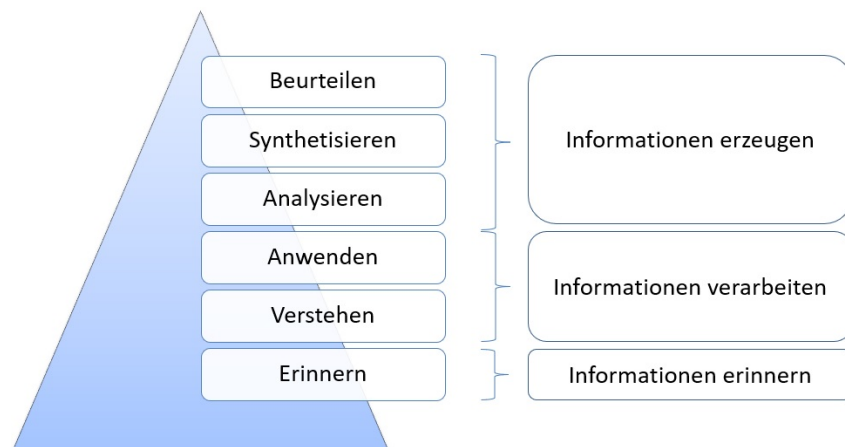


Abbildung 3.10: Kognitive Taxonomie von Lehrzielen (Eigene Darstellung in Anlehnung an BLOOM (1976), S. 31 und METZGER und NÜESCH (2004), S. 14 f.)

Die einzelnen Stufen sollen nun etwas genauer betrachtet werden. Dazu wird der Kern jeder Stufe kurz beschrieben und es werden beispielhaft Verben angeführt, die charakteristisch für Lehrziele auf diesen Stufen sind (vgl. etwa BLOOM (1976), S. 217 ff. und RUB (2020), S. 16).

- Stufe 1: Erinnern
 - Auf dieser Stufe soll Wissen erinnert, also abgerufen und wiedergegeben werden können. Es geht um die Kenntnis bestimmter Begriffe, Definitionen, Fakten und Daten. Aber auch das Wissen von Regeln, Gesetzmäßigkeiten, Theorien, Kriterien und Methoden ist hier betroffen.
 - reproduzieren, aufzählen, wiedergeben, schildern, skizzieren, ...
- Stufe 2: Verstehen
 - Erste Zusammenhänge können erkannt und verstanden werden. Sachverhalte können in eigenen Sätzen wiedergegeben werden.
 - beschreiben, darstellen, präsentieren, erklären, demonstrieren, verdeutlichen, erläutern, interpretieren, ...
- Stufe 3: Anwenden
 - Das erworbene Wissen kann auf konkrete Fälle unmittelbar angewendet werden. Das Verstandene kann durch die Ausführung von Handlungsabläufen zur Lösung eines Problems eingesetzt werden.
 - gebrauchen, bearbeiten, berechnen, lösen, anwenden, durchführen, ...
- Stufe 4: Analysieren
 - Inhalte können in ihre einzelnen Elemente aufgeteilt, Beziehungen zwischen ihnen erkannt und Folgerungen abgeleitet werden.
 - bestimmen, ableiten, analysieren, unterscheiden, gliedern, zerlegen, identifizieren, gegenüberstellen, vergleichen, kategorisieren, ...
- Stufe 5: Synthetisieren
 - Elemente können zu einem Ganzen zusammengefügt werden. Bereits identifizierte Teile können kreativ neu kombiniert werden. Neue Lösungswege können vorgeschlagen und Hypothesen entworfen werden.
 - erarbeiten, zusammensetzen, kombinieren, entwerfen, planen, entwickeln, konstruieren, konzipieren, ...

- Stufe 6: Beurteilen
 - Alternativen können gegeneinander abgewogen werden. Möglichkeit der selbständig kritischen Auseinandersetzung mit Inhalten, Fassung von Entschlüssen und deren Begründung sowie eigene begründete Urteile und konstruktive Kritik können vorgebracht und ausgeübt werden.
 - bewerten, beurteilen, begründen, diskutieren, auswählen, entscheiden, prüfen, kritisieren, ...

Die ersten beiden Stufen können als Stufen des Wissens aufgefasst werden. Die Stufen drei bis sechs betrachten unterschiedliche Fähigkeiten mit diesem umzugehen. Mit Stufe 3 beginnt die Kompetenzorientierung (vgl. RUB (2020), S. 15).

Zumindest in Teilen haben Metzger und Nüesch den Aufbau der Lehrziele weiterentwickelt und in vereinfachter Form verwendet (vgl. METZGER und NÜESCH (2004), S. 14 f.). Sie haben wie in Abbildung 3.10 dargestellt, die letzten drei Stufen der Taxonomie von Bloom als auf einer gemeinsamen Ebene stehend betrachtet (auch in Abhängigkeit jeweiliger Lehrinhalte) und diese zusammengefasst zu einer Stufe *Informationen erzeugen*. Die Stufen 2 und 3 haben sie vereint zu *Informationen verarbeiten* und Stufe 1 trägt die Bezeichnung *Informationen erinnern*.

Bloom selbst hat seine Taxonomie mit David Krathwohl und Lorin Anderson et al. um Wissensdimensionen ergänzt. Folgende tabellarische Darstellung zeigt diese Weiterentwicklung.

Wissensdimensionen	Kognitive Prozess-Dimensionen					
	(1) Erinnern	(2) Verstehen	(3) Anwenden	(4) Analysieren	(5) Beurteilen	(6) Erschaffen
(A) faktisch						
(B) konzeptionell						
(C) prozedural						
(D) metakognitiv						

Abbildung 3.11: Überarbeitete Taxonomie (in Anlehnung an ANDERSON et al. (2001), S. 28)

Die bisherigen Stufen fünf und sechs wurden im revidierten Modell zur Stufe fünf *Beurteilen* zusammengefasst. Die neu festgelegte Stufe sechs beinhaltet die eigenständige Problemlösung und Erschaffung von etwas Neuem als Lehrziel und wurde mit *Erschaffen* bezeichnet. Zu den bisher von Bloom identifizierten ursprünglichen drei Wissensdimensionen *faktisch*, *konzeptionell* und *prozedural* kommt eine weitere Dimension *metakognitiv* hinzu (vgl. ANDERSON et al. (2001), S. 28).

Unter diesen Wissensdimensionen ist Folgendes zu verstehen:

- Faktisches Wissen
 - Faktenwissen bezieht sich auf Einzelheiten, Ereignisse, Fälle (vgl. KERRES (2001), S. 162). Es beinhaltet auch das Erinnern von Fachbegriffen oder Konzepten (vgl. BAUMGARTNER (2011), S. 37).
- Konzeptuelles Wissen
 - Dieses ist vernetztes Begriffswissen und wird in Form von Klassifikationen, Prinzipien, Theorien, Modellen und Strukturen sichtbar (vgl. BAUMGARTNER (2011), S. 37).
- Prozedurales Wissen
 - Dieses bezieht sich auf spezifische Fertigkeiten oder allgemeine Strategien (vgl. KERRES (2001), S. 162). Es beinhaltet auch Wissen über Techniken, Methoden und Prozeduren sowie deren Nutzung (vgl. BAUMGARTNER (2011), S. 37).
- Metakognitives Wissen
 - Es geht hier um Metastrukturen, um Theorien und Verallgemeinerungen und um Wissen über besondere Verallgemeinerungen (vgl. BAUMGARTNER (2011), S. 38).

Die Lehrziele können sich in jeder Stufe in allen Wissensdimensionen bewegen. Die Kompetenzorientierung startet in der Taxonomie von Anderson und Krathwohl et al. ebenfalls auf Stufe 3 mit der Anwendung angeeigneten Wissens (vgl. RUB (2020), S. 16).

Weinert definiert Kompetenzen als „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (WEINERT (2002), S. 27 f).

Die Fertigkeiten und Fähigkeiten beziehen sich dabei beispielsweise auf einen bestimmten Lernbereich oder ein bestimmtes Fach. Kompetenz ergibt sich somit aus der Summe von Wissen, Können und Handeln. Die kognitiven Stufen können dabei als Anspruchsniveaus eines Lernprozesses betrachtet werden. Die entsprechende Kompetenzebene liegt dann umso höher, je höher die erreichte Stufe.

In Bezug auf die Präsentation von Inhalten dominiert E-Learning hinsichtlich der Vielfalt möglicher Darstellungsformen potentiell andere (analoge) Medien. Sind die Inhalte eines Lerngegenstands, -gebiets oder einer Lerneinheit standardisiert, können als statisch bezeichnet werden, lassen sich in einzelne Teileinheiten zerlegen und handelt es sich um gesicherte Kenntnisse/Erkenntnisse, die mitunter auch praktisch umsetzbar sind, dann ist E-Learning prinzipiell geeignet und kann den Lernprozess bereichern.

Mit Blick auf die Wissensdimensionen ist E-Learning damit prädestiniert für Faktenwissen, um sich also beispielsweise mit Basiswissen einer Fachdisziplin vertraut zu machen und sich Kenntnisse spezifischer Details und Elemente anzueignen. Auch für die Lehre von Konzeptwissen kann E-Learning einen wertvollen Beitrag liefern, wenn es also um Wissen über die Zusammenhänge einzelner Bestandteile des Basiswissens geht oder Kenntnisse von Klassifikationen und Kategorien, Theorien, Modellen und Strukturen eine Rolle spielen. So verhält es sich auch mit dem Bereich des prozeduralen Wissens, wenn etwa Kenntnisse über Anwendungskriterien für fachspezifische Fähigkeiten, Algorithmen, Techniken und Methoden betrachtet werden. Etwas schwieriger wird es mit der Kategorie des metakognitiven Wissens, wenn es beispielsweise um das Bewusstsein und Wissen über den persönlichen Erkenntniszuwachs oder Wissen über eigene Stärken und Schwächen geht, da insbesondere auch Überprüfungen des eigenen Lernerfolgs durch E-Learning-Systeme schnell an hohe

Hürden geraten können, wenn mehr als nur die reine Abfrage von Wissen von Interesse ist.

Mit Blick auf die kognitiven Prozess-Dimensionen kann festgehalten werden, dass E-Learning die ersten drei Stufen sehr gut unterstützen kann und die Stärken von E-Learning in der Vermittlung von Faktenwissen, Konzeptwissen und Übung durch und mit Wiederholung von Routinen und Fertigkeiten liegen (prozedurales Wissen), sofern diese am Bildschirm über Tastatur, Maus, Touchscreen, Mikrofon, Webcam oder andere Peripheriegeräte nachvollzogen werden können. Damit wird die erste Kompetenzebene abgedeckt, die für weitere Schritte elementar wichtig ist, und die die Grundlage für die Erreichung höherer Kompetenzebenen bildet.

Die Potentiale von E-Learning können unter zugegebenermaßen hohem Aufwand weiter ausgeschöpft werden. So sind mit der Visualisierung theoretisch schwieriger, abstrakter Zusammenhänge durch etwaige Schaubilder, Animationen und interaktive Abläufe Möglichkeiten verfügbar, die der Erreichung der nächsten Kompetenzebene auch mit handlungsorientiertem Lernen dienlich sind. Für die nächsthöheren Kompetenzebenen sind argumentieren, begründen, diskutieren und kritisieren von zentraler Bedeutung. Dazu sind aktive Auseinandersetzungen mit anderen Personen durch Beteiligung an Präsentationen, Erörterungen und Diskussionen notwendig (vgl. KERRES (2001), S. 301). Dieses Auseinandersetzen mit Einwänden und Rückfragen anderer führt dann auch zu einem tieferen Verständnis, das so in gängigen E-Learning-Szenarien nur schwer erworben werden kann. Natürlich können hier auch diverse digitale Kommunikationswege und -formen wie Chats, Foren, virtuelle Seminarräume, Videokonferenzen und weitere angeführt werden, doch haben sich diese zumindest auf diesen Ebenen noch zu bewähren.

Für das Agieren im beruflichen Umfeld sind zudem Handlungskompetenz und praktische Verantwortungsfähigkeit notwendig, die sich im lebens- und berufspraktischen Umfeld mitunter durch eigene persönliche und die von anderen gemachten Erfahrungen ausbilden. E-Learning-Systeme sind hier nicht geeignet, praktische Bewährungssituationen zur Verfügung zu stellen, an und in denen das Gelernte wirksam werden kann und so Rückmeldungen über Lernerfolge generiert werden. Und da Verantwortungsfähigkeit bedeutet, mit der

eigenen Person, für sein Handeln gegenüber anderen gerade zu stehen, lässt sich auch diese Kompetenzebene nur im menschlichen Miteinander erreichen und ausbauen.

3.5.2 Analyse der Eignungskriterien für den Anwendungsfall von OR-Methoden

Um die Analyse der Kriterien für die Eignung von E-Learning im Anwendungsfall der OR-Methoden zielführend durchführen zu können, wird nun der Fokus auf den Lehrinhalt und die mit diesem verbundenen möglichen Lehrziele gelegt. Die im vorherigen Abschnitt betrachteten Stufen der kognitiven Lehrziele nach Bloom (vgl. insbesondere Abbildung 3.10, S. 111) sollen mit Fokus auf das Innere-Punkt-Verfahren von Dikin (siehe Abschnitte 2.4.1, S. 50 ff. und 2.4.2, S. 59 ff.) betrachtet werden. Auch wird der Methodenbegriff noch einmal aufgegriffen, um auf die Besonderheiten der Algorithmenlehre eingehen zu können.

Wie beispielsweise in Abschnitt 2.1.3, S. 13 ff. schon erwähnt, ist eine Methode des Operations Research ein Verfahren, das ein zuvor definiertes formales Problem (eingebettet in einen wirtschaftswissenschaftlichen Hintergrund) nach endlich vielen Schritten löst oder zu der Aussage gelangt, dass keine Lösung existiert. Mit Blick auf die in Abschnitt 2.3, S. 36 ff. vorgenommenen Betrachtungen lassen sich für einzelne Methodenklassen und auch speziell für einen bestimmten Algorithmus individuelle Lernvoraussetzungen insbesondere im kognitiven Bereich für die potentiellen Lernenden angeben (vgl. Abschnitte 2.3.3, S. 45 ff. und 2.4.3, S. 67 ff.). Die erforderlichen Vorkenntnisse könnten auch mit einem Einstufungstest überprüft werden. Die Lehrziele im Kontext der Algorithmenlehre können (auch wenn diese mitunter vielfältig und anspruchsvoll sind) formuliert werden, so dass die interessierten Personen einen Abgleich mit ihren Bedürfnissen und Ansprüchen durchführen können.

Die Stufe 1 der Taxonomie von Bloom schließt bezüglich des Verfahrens von Dikin das Kennenlernen von Anwendungskriterien sowie der grundsätzlichen Vorgehensweise des Verfahrens ein. Begriffe, Definitionen und Schritte (auch Regeln zur Durchführung dieser) in Zusammenhang mit der Methode wie etwa „Innerer-Punkt“, „Skalierung“, „Projektionsmatrix“, „Richtung“ usw. sol-

len wiedergegeben und skizziert werden können. Auch für die Algorithmienlehre insgesamt ist die Kenntnis bestimmter Begriffe, Definitionen und Regeln notwendig, die sich mit elektronischen Medien sehr gut vorstellen, darstellen, vermitteln und auch hinsichtlich des Lernerfolgs überprüfen lassen. Auch im Bereich des Konzeptwissens (vgl. vorheriger Abschnitt 3.5.1, S. 107 ff.), wenn es darum geht, Methoden zu klassifizieren, Einordnungen vorzunehmen, Theorien, Modelle und gewisse Strukturen aufzuzeigen, ist E-Learning sinnvoll und praktikabel anwendbar.

Auf Stufe 2 der angesprochenen Taxonomie sollen einzelne Schritte, deren Notwendigkeit und deren Zusammenhänge innerhalb des Verfahrens (so etwa für das IP-Verfahren von Dikin „Richtungs- und Schrittweiteremittlung“) verstanden werden. Es soll sich ein Verständnis der grundsätzlichen Vorgehensweise entwickeln, so dass diese beschrieben und erklärt werden kann. Das beinhaltet eine Vorstellung darüber, wann welche Schritte durchzuführen und warum diese Schritt für die Lösung des Problems erforderlich sind. Darauf baut Stufe 3 auf. Hier soll das Verfahren von Dikin auf ein in Standardform vorliegendes lineares Programm angewendet werden können. Die einzelnen Schritte und Iterationen können durchgeführt und das LP mit Hilfe der IP-Methode gelöst werden. Dazu ist eine Aneignung des Rüstzeugs für den Umgang mit dem Algorithmus notwendig.

Der Kern der Algorithmienlehre ist dem prozeduralen Wissen (vgl. vorheriger Abschnitt 3.5.1, S. 107 ff.) zuzuordnen, was auch sehr leicht mit Blick auf eine einfache Definition des Begriffs *Algorithmus* zu erkennen ist. Danach ist ein Algorithmus ein allgemeines Verfahren zur Lösung einer Klasse von Problemen. Dieses Verfahren wird durch eine endliche Menge von Regeln beschrieben, die in festgelegter Reihenfolge anzuwenden und oft nach bestimmten Bedingungen zu wiederholen sind. Die folgenden Eigenschaften werden einem Algorithmus typischerweise zugeschrieben (vgl. etwa WERNER (2012), S. 19 ff.):

- Allgemeingültigkeit (Abstraktion): Ein Algorithmus lässt sich auf alle Probleme gleichen Typs (Problemklasse) anwenden und führt stets zum gesuchten Ergebnis (d. h. zur Lösung oder aber zur Erkenntnis, dass sich das Problem nicht lösen lässt).

- Eindeutigkeit (Determiniertheit): An jeder Stelle des Verfahrens ist der nächste Schritt eindeutig festgelegt.
- Endlichkeit (Finitheit): Ein Algorithmus setzt sich aus einer Folge endlich vieler Anweisungen bzw. Regeln endlicher Länge zusammen.
- Endlichkeit (Terminiertheit): Ein Algorithmus wird als terminierend bezeichnet, falls dieser bezüglich zulässiger Eingaben nach endlich vielen Schritten zum Ende kommt.

Ein solches Verfahren lässt sich auf vielfältige Art und Weise darstellen. Von der Formulierung in menschlicher Sprache über Pseudocode bis hin zur Darstellung in Flussdiagrammen oder auch Struktogrammen sind viele Varianten möglich. Diese Variantenvielfalt kann hier gepaart werden mit den vielfältigen Präsentationsformen elektronischer Medien in Text, Bild, animierten Grafiken und interaktiven Abläufen. Diese können dem Lernenden auch zur Auswahl zur Verfügung gestellt werden kann, so dass dieser die Darstellung des Inhalts beeinflussen kann.

Das Augenmerk ist auch auf die zentralen Bestandteile der Algorithmenlehre – den kognitiven und den pragmatischen Teil – zu richten. Für den kognitiven Teil kann dem Lernenden durch die Vorgabe eines Problems der Einstieg erleichtert werden. Die Anwendbarkeitskriterien des Verfahrens können erläutert und das Verfahren Schritt für Schritt durchgespielt werden. In jedem Schritt kann eine Regelerklärung und die Ausführung im Detail (auf unterschiedliche Art und Weise) betrachtet werden. Dadurch kann der Lernende auch ein Verständnis für die algorithmische Denkweise entwickeln.

Die pragmatischen Aspekte zielen auf die eigene Umsetzung der einzelnen Schritte ab – hier soll sich der Lernende das Rüstzeug für den Umgang mit Algorithmen erarbeiten. Da das pragmatische Lernen ausschließlich über eigene Aktivität erfolgt, muss hier dem Lernenden statt einer passiven eine aktive Rolle zukommen (vgl. MEYER (1994), S. 214). Hier liegt eine weitere Stärke und somit auch ein besonderer Aspekt der Eignung des E-Learnings – die Interaktivität. Der Lernende kann zunächst die Abläufe selbst steuern, kann Teilschritte nach vorne machen oder diese auch rückgängig machen, um deren Ausführung und Auswirkung zu betrachten und nachzuvollziehen. Seine

Aktivität muss aber darüber hinaus gehen. So kann der Lernende etwa am Fortschritt des Algorithmus beteiligt werden, unter anderem auch durch die Eingabe von Parameterwerten und auch durch die Verwendung eigener Problemdaten. Er kann zur Vorhersage des nächsten Schritts oder der nächsten Schritte oder zur Durchführung von Einzelschritten aufgefordert werden. Auf die entsprechende Eingabe kann mit einem angepassten Feedback auch bezogen auf die Überprüfung der Einhaltung der Regeln und deren Ausführung reagiert werden.

Die kognitiven und auch die pragmatischen Kenntnisse und Fertigkeiten werden insbesondere durch Wiederholungen vertieft und gefestigt. Dafür lassen sich elektronische Medien sehr gut verwenden. Hinsichtlich eines Algorithmus lassen sich einzelne Teilschritte, Iterationen oder das ganze Verfahren beliebig oft betrachten, wiederholt durchführen – unter Umständen auch der vorgesehenen Reihenfolge entgegengesetzt, sollte dies dem Verständnis dienlich sein. Mit Blick auf die kognitiven Prozess-Dimensionen eignen sich E-Learning-Angebote somit insbesondere für die ersten drei Stufen und damit für das Erreichen der ersten Kompetenzebene, die Basis für weiterführende Kompetenzebenen sind. Mit Blick auf das IP-Verfahren von Dikin und auch die Algorithmienlehre im Gesamten beinhaltet Stufe 4 dann, dass das Verfahren selbst in einzelne Elemente (hier Teilschritte, Schritte und Iterationen) zerlegt werden kann. Darüber hinaus sind Beziehungen zwischen diesen bekannt, so dass auch Folgerungen aus diesen abgeleitet werden. Dazu ist die Entwicklung eines eigenen Konzepts notwendiger Verfahrensschritte erforderlich.

Auf Stufe 5 wird dann die Entwicklung eines Verständnisses für die algorithmische Denkweise vorangetrieben. Die einzelnen Teilschritte und Schritte können zu einem Ganzen zusammengefügt und neue Ansätze zur Lösung einer Problemstellung können konstruiert werden. Das Verfahren lässt sich auf ähnliche Problemstellungen auch aus anderen Sachverhalten anwenden und dazu, falls erforderlich, modifizieren. Aufbauend darauf erfolgt dann in Stufe 6 die Fähigkeit, das Verfahren gegen andere Methoden abwägen zu können. Auch können entsprechend Vor- und Nachteile begründet und diskutiert werden.

Mit entsprechender Ausgestaltung von E-Learning-Szenarien sind in der Zielerreichung auch Elemente dieser Stufen 4 bis 6 und somit Grundlagen wei-

terer Kompetenzebenen denkbar. Diese sind aber im personellen Diskurs, in praktischen Bewährungssituationen sowie auch im praxisbezogenen beruflichen Umfeld weiter auf- und auszubauen.

3.6 Die zentrale Bedeutung von Lernsoftware in der Konzeption von E-Learning-Anwendungen

Anknüpfend an die Ausführungen in Abschnitt 3.4.1, S. 98 ff. soll nun das Augenmerk auf der zentralen Bedeutung der Lernsoftware an sich im Rahmen der Konzeption einer E-Learning-Anwendung liegen.

Die Konzeption einer multimedialen Lernumgebung „ist ein mediendidaktisches Gestaltungsproblem, das von der Analyse des didaktischen Feldes ausgeht“ (KERRES (1999), S. 12). Bei einer solchen Analyse sind folgende Faktoren besonders relevant:

- „Merkmale der Zielgruppe
- Spezifikation von Lehrinhalten und -zielen
- didaktische Methode: Transformation und Strukturierung der Lernangebote
- Merkmale der Lernsituation und Spezifikation der Lernorganisation
- Merkmale und Funktionen der gewählten Medien und Hilfsmittel“ (KERRES (1999), S. 12).

All diese Spezifikationen und Merkmale sind in gewisser Form in die Lernsoftware zu integrieren. D. h. in der Lernsoftware sind letztendlich die Ergebnisse der durchgeführten Betrachtungen und Analysen zusammenzuführen. Es ist festzulegen, welche Inhalte wie für welchen Kreis an Lernenden verfügbar sein und dargestellt werden sollen. Werden die Inhalte in einer sequentiellen Abfolge oder in einer vernetzten, offenen Struktur dargestellt? Findet Interaktion statt, wenn ja in welcher Form? Wird ein expositiver oder explorativer Ansatz verfolgt? Übernimmt die Software die Steuerung des Lernprozesses oder überlässt man die Steuerung dem Lernenden? Versucht man das System intelligenter zu machen oder den Lernenden?

Die Liste an Fragestellungen könnte hier natürlich noch fortgesetzt werden. Die hier aufgeführte Auswahl soll aber zunächst ausreichen, so dass für die Hervorhebung seiner Bedeutung im Rahmen von Lernsoftware ein weiterer Punkt in den Mittelpunkt gerückt werden.

In der klassischen Form des Unterrichtens kann der Lehrende seinen Unterrichtsplan auch kurzfristig ändern, um auf geänderte Bedingungen reagieren zu können. Beim Lernen mit einer Software muss eine vollständige Konzeption vorliegen, die die Interaktionsmöglichkeiten und Abläufe von vornherein beschreibt. Fehler in der Planung lassen sich meist nur unter hohem Aufwand korrigieren, so dass der Konzeption hier sehr große Bedeutung zukommt (vgl. KERRES (2018), S. 84).

Kapitel 4

Entwicklung einer Lernsoftware-Didaktik für die IP-Methoden des OR

4.1 Allgemeine Grundlagen zum Entwurf einer Lernsoftware

4.1.1 Idee und Urmodell des Instructional Design

Ebenso wie bei der Entwicklung traditioneller Lernangebote sind auch bei der Entwicklung softwaregestützter Lernangebote zahlreiche didaktische Entscheidungen zu fällen. In Abhängigkeit der zu vermittelnden Lerninhalte und der zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen ist eine geeignete oder nach Möglichkeit die geeignetste Lernumgebung zu konzipieren (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 17). Dabei wird unter Instruktionsdesign (Instructional Design, ID) die „kompromisslose rationale und systematische Gestaltung der Lernumgebung“ (DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 51) verstanden. Die wissenschaftliche Disziplin des Instruktionsdesigns umfasst dazu technologische Aussagen, die der effektiven Gestaltung von Lernumgebungen dienen sollen (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 17). Diese Aussagen „beanspruchen, durch deskriptive, stochastisch-gesetzesmäßige Aussagen (meist aus der psychologischen Forschung) fundiert zu sein“ (NIEGEMANN et al. (2008), S. 19).

Der Begriff des Instruktionsdesigns ist auf den amerikanischen Psychologen und Pädagogen Robert Mills Gagné zurückzuführen. Ausgangspunkt des Instruktionsdesigns ist Nordamerika zum Ende der 1950er-Jahre, von wo aus sich diese Disziplin in weitere englischsprachige Länder und auch Teile Europas verbreitet und zu einem Teil der pädagogischen Psychologie entwickelt hat (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 17). „Instruktion“ steht dabei für ein systematisches Arrangement von Umgebungsbedingungen, das der Förderung von Kompetenzen tauglich ist (vgl. RESNICK (1987), S. 51). Somit ist die Bedeutung des Begriffs auch wesentlich umfassender als die der Ausdrücke „Unterricht“ oder „Lehre“ im deutschen Sprachgebrauch (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 17).

Seit Mitte der 1960er-Jahre werden für die Planung und Konzeption von Lernumgebungen sogenannte „Instructional System Design“-Modelle verwendet (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 20). Niegemann et al. beschreiben den Kern dieser Modelle als „eine systematische Koordination der Entwicklungsphasen Analyse, Design (Konzeption), Entwicklung im engeren Sinne (Development), Implementierung sowie Evaluation“ (NIEGEMANN et al. (2008), S. 20), wonach diese Modelle auch als „ADDIE“-Modelle bezeichnet werden.

Das Urmodell des Instruktionsdesigns nach Gagné enthält die grundsätzlichen Prinzipien (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 20):

- Sicherung der Lernvoraussetzungen für anstehende Lehrinhalte und
- Abstufung didaktischer Prozesse nach verschiedenen Lehrzielkategorien.

Dabei versteht Gagné unter Lernvoraussetzungen das Wissen, das erforderlich ist, um sich mit dem Lernen des neuen Inhalts befassen zu können. Die Lernvoraussetzungen sind zunächst zu ermitteln und dann hierarchisch zu ordnen. Danach sollen die zu erwerbenden Fähigkeiten kategorisiert werden. Gagné unterscheidet die folgenden fünf Lehrzielkategorien (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 21):

- „Sprachlich repräsentiertes Wissen,
- kognitive Fähigkeiten,
- kognitive Strategien [...],

- Einstellungen und
- motorische Fähigkeiten“ (NIEGEMANN et al. (2008), S. 21).

So sind am Anfang jeder Planung und der nachfolgenden Entwicklung einer Lernumgebung die zu vermittelnden Fähigkeiten den genannten Kategorien entsprechend zu analysieren, da die empfohlene Vorgehensweise in Abhängigkeit der jeweiligen Kategorie variiert (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 21). Der Lernprozess selbst weist dann unterschiedliche Phasen auf, entsprechend derer Gagné eine grundsätzliche Abfolge von „events of instruction“ (Lehr-Ereignisse) bezeichnet, die häufig auch als „Lehrschritte“ benannt werden (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 21).

In diesem ursprünglichen Modell beschreibt Gagné einen allgemeinen Rahmen für den Aufbau eines Lernangebots durch eine Folge von neun „instruktionalen Ereignissen“ (vgl. GAGNÉ et al. (1992), S. 190 ff.), die in Tabelle 4.1 aufgeführt sind.

	Aktivität des Lehrenden	Aktivität des Lernenden
①	Aufmerksamkeit erzielen	Konzentration mobilisieren
②	Lehrziele mitteilen	realistische Erwartung über Lernergebnis aufbauen
③	an Vorwissen anknüpfen	Langzeitgedächtnis aktivieren
④	Lernmaterial präsentieren	Lernmaterial wahrnehmen
⑤	Lernhilfen anbieten	Übernahme in Langzeitgedächtnis durch semantische Enkodierung fördern
⑥	Gelerntes anwenden	Rückschlüsse auf Lernergebnis ermöglichen
⑦	Rückmeldung geben	diagnostische Information und Verstärkung geben
⑧	Leistung testen	Hinweise zur Verfügung haben, die bei der Erinnerung benötigt werden
⑨	Behaltensleistung und Lerntransfer fördern	Leistung in neuen Situationen erproben

Tabelle 4.1: Instruktionale Ereignisse (nach Gagné) (siehe KERRES (2002), S. 8)

Diese instruktionalen Ereignisse sind von Gagné in der wahrscheinlichsten Reihenfolge angegeben, müssen aber nicht immer in dieser auftreten (vgl. GAGNÉ et al. (1992), S. 190). Die Einhaltung der vorgegebenen Abfolge trägt nach Gagné zum Lernerfolg bei, und damit kann das Modell als universelles Sequenzmodell verstanden werden (vgl. KERRES (2001), S. 188). Seiner Meinung nach sind diese Ereignisse in einem erfolgreichen Lehr-/Lernprozess erforderlich, unabhängig davon, ob diese von außen, d. h. durch eine Lehrperson oder ein Lehrmedium angestoßen oder durch den Lernenden selbst initiiert werden (vgl. KERRES (2002), S. 7).

Das Modell schlägt vor, vom Allgemeinen zum Besonderen vorzugehen, also zunächst Lehrinhalte zu präsentieren, diese dann zu vertiefen und mit Beispielen zu erklären und einzuüben (vgl. KERRES (2001), S. 188). Die Aktivitäten der Lehrenden sollen die Aktivitäten des Lernenden, auf die das Augenmerk zu richten ist, anregen und sicherstellen. Dies trifft auch auf eine Software im Rahmen des computergestützten Lernens zu, auf das Gagné bereits in den 1970er-Jahren die Anwendung des Modells übertragen hat (vgl. KERRES (2002), S. 8).

Das Urmodell des Instruktionsdesigns von Gagné wurde zwar ohne besondere Berücksichtigung des Lehrens und Lernens mit Medien und somit ohne Anmerkungen und Aufforderungen im Hinblick auf medienspezifische Designentscheidungen entworfen, wird jedoch prinzipiell für die Entwicklung multimedialer Einheiten als geeignet betrachtet (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 21 f.). Dieses Modell wurde von Kerres weiterentwickelt und ist Grundlage der Ausführungen in Abschnitt 4.3, S. 143 ff.

Die ID-Modelle der ersten Generation gründeten auf den Vorstellungen und Erkenntnissen der in Abschnitt 3.1.1, S. 78 ff. beschriebenen behavioristischen Lerntheorien. Da jedoch mit der Zeit vermehrt „kognitive Modifikationen“ (REINMANN und MANDL (2006), S. 620) vorgenommen wurden, die den Auffassungen der kognitivistischen Lerntheorien (siehe Abschnitt 3.1.2, S. 79 ff.) vom Lernen als Informationsverarbeitungsprozess folgten (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 52), werden diese Modelle heute zumeist nicht mehr vertreten und haben nunmehr lediglich historische Bedeutung (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 22). Sie wurden, von wenigen Ausnahmen abgesehen, abgelöst durch Modelle der zweiten Generation, in denen sich kognitivistische

und konstruktivistische Positionen auch in verknüpfter Form wiederfinden (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 52). Aus der ersten Modellgeneration ist nach wie vor das ARCS-Modell von John M. Keller bedeutend, das der zielgerichteten Motivierung des Lernenden dient (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 22). ARCS steht hier für die vier Hauptfaktoren der Motivation: *Attention*, *Relevance*, *Confidence* und *Satisfaction*. Dieses Modell wird im Mittelpunkt der Betrachtungen des Abschnitts 5.2.2, S. 171 ff. stehen.

Ein umfassender Überblick über Theorien und Modelle der ersten und auch der nachfolgend betrachteten zweiten Generation ist in dem 1999 veröffentlichten Werk „Instructional-design Theories and Models – A New Paradigm of Instructional Theory“ des amerikanischen Bildungsforschers Charles M. Reigeluth zu finden (REIGELUTH (1999)).

4.1.2 Modelle der zweiten Generation und situationistische Modelle

Mit dem Aufkommen der konstruktivistischen Lerntheorie (siehe Abschnitt 3.1.3, S. 81 ff.) in den 1990er-Jahren gerieten die bis dato entwickelten ID-Modelle zunehmend in die Kritik. Die Hauptkritikpunkte waren dabei (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 22 f.):

- eine zu hohe Rigidität der gegebenen Empfehlungen einerseits, die auch zu einer Einschränkung der didaktischen Kreativität führt, und
- die Erzeugung „trägen Wissens“ andererseits.

Die Kritik ist folglich auch unmittelbar mit der allgemeinen Kritik des Konstruktivismus am Objektivismus und Instrukionalismus verwurzelt (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 151).

Dem erstgenannten Punkt kann entgegnet werden, dass eine direkte Modellumsetzung durch Variation in der Reihenfolge von Elementen und auch durch Kombination von Elementen unterschiedlicher Modelle umgangen werden kann (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 22). Der zweitgenannte Punkt war dabei nicht so einfach zu entkräften, da die in den gegebenen Modellen ausschließlich vorgesehenen Formen direkter Instruktion zur Produktion von Wissen führt,

das nicht unmittelbar angewendet und zur Lösung von Problemen verwendet werden kann, also „träge“ ist (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 23).

Auch in Reaktion darauf wurden neue didaktische Modelle entworfen, die sich etwa Aspekte des selbstständigen Entdeckens, der Aktivität des Lernenden, einer multiperspektivischen Sichtweise und/oder auch eines kooperativen Lernens zum Inhalt und zur Aufgabe machten (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 23). Die Überarbeitung auf der einen Seite und auch gute Gründe auf der anderen Seite, die für „direkte Instruktion“ stehen, sprechen dafür, dass es lohnenswert sein kann, sich auch mit älteren Modellen auseinanderzusetzen (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 23).

Euler nennt einige zentrale Gestaltungselemente einer Lernsoftware gemäß der zweiten Generation des Instruktionsdesigns (vgl. EULER (1994), S. 297):

- Prinzip der Lernersteuerung: Der Lernende soll einzelne Bearbeitungsschritte und deren Reihenfolge selbst festlegen können, um so eine auf dessen Bedürfnisse abgestimmte Bearbeitung der Inhalte zu ermöglichen.
- Prinzip der lebensnahen Informationsdarstellung: Lerninhalte sollen realitätsnah dargestellt werden, um leichter Verbindungen zwischen Inhalten und subjektiven Erfahrungsstrukturen herstellen zu können. Dadurch soll die Eingliederung neuer Lerninhalte und Informationen in die vorhandenen Wissens- und Denkstrukturen gefördert werden.
- Prinzip der gestuften Hilfen als Angebot des Lernprogramms an den Lernenden: In Abhängigkeit des gegenwärtigen Lernstands und -fortschritts wird dem Lernenden eine angepasste Hilfe angeboten, so dass dieser bei Bedarf auf entsprechend tiefergehende Lerninhalte Zugriff nehmen kann.

Konstruktivistische Lerntheorien gehen von einer subjektiven Wahrnehmung der Realität aus, in der nichts objektiv wahrnehmbar und demnach auch Wissen nicht objektiv existent ist (siehe Abschnitt 3.1.3, S. 81 ff.). Da Lehren in diesem Kontext nicht stattfinden kann, sind Lernumgebungen zu schaffen, in denen sich der Lernende selbstgesteuert mit den Lerninhalten auseinandersetzen kann, wobei gerade Desorientierung und Überforderung auftreten, wenn Elemente der Unterstützung und Anleitung im Lernprozess fehlen (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 54). In einer mittlerweile etablierten

Position heben auch gemäßigte Konstruktivisten größtenteils eine Ausweitung instruktionaler Ansätze hervor und teilen die Auffassung, dass sich der Lernprozess bis zu einem bestimmten Punkt steuern und planen lässt (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 153) und damit die Instruktionskomponente.

Diese Verknüpfung des Instruktions- und Konstruktionsprinzips wird, wie auch schon in Abschnitt 3.2.3, Seite 91 ff. ausgeführt, als gemäßigt konstruktivistische Position beschrieben oder aber auch hier als Instruktionsdesign der zweiten Generation (ID2) bezeichnet (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 54). Im Rahmen dieser ID-Modelle der zweiten Generation sind Ansätze zu finden, „die ein Lernen anhand möglichst realitätsnaher Problemstellungen – ein ‚situiertes Lernen‘ – anstreben“ (DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 54). Abbildung 4.1 veranschaulicht diesen Sachverhalt.

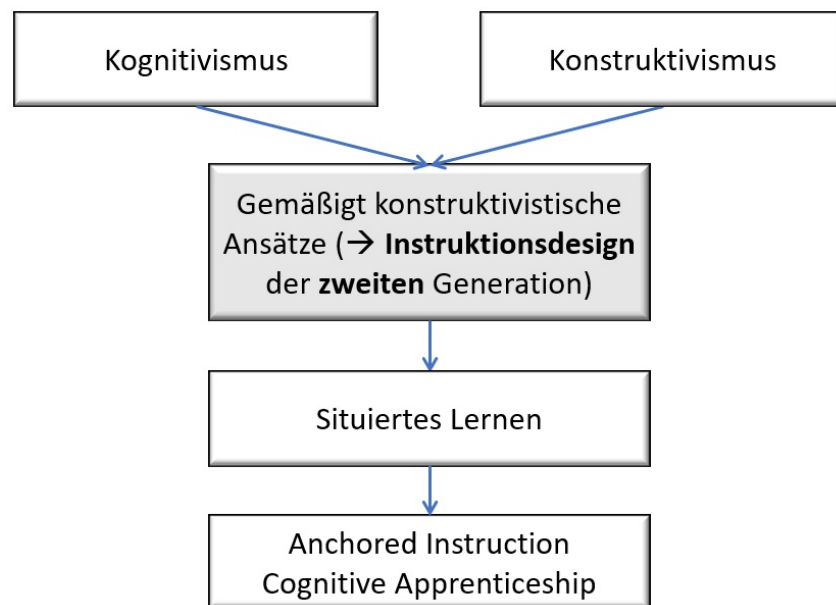


Abbildung 4.1: Ansätze situierten Lernens (in Anlehnung an DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 56)

Im situierten Lernen nimmt, wie in der Bezeichnung offensichtlich erkennbar, die Situation, die den Lernprozess umgibt – in der dieser sich vollzieht, eine zentrale Rolle ein (vgl. MANDL et al. (2002), S. 140). Lernen ist dabei immer ein Prozess, in dem auf die Person bezogene interne Faktoren mit externen, situativen Faktoren in gegenseitigem Wirkungsverhältnis stehen, wobei sich

situative Faktoren neben materiellen Aspekten auch auf die soziale Umwelt des Lernenden beziehen (vgl. MANDL et al. (2002), S. 140).

Eine zentrale Forderung der Vertreter situierten Lernens ist darin zu sehen, bei der Gestaltung von Lern- und Anwendungssituationen darauf zu achten, dass diese einander so weit wie möglich ähnlich sind, da Wissen als stark kontextgebunden betrachtet wird (vgl. MANDL et al. (2002), S. 141). Durch die Erfüllung dieser Forderung könnte der Bildung „tragen“ Wissens entgegenge- wirkt werden. Zusätzlich formulieren Mandl et al. unter anderem folgende zwei Punkte, die dem erfolgreichen Wissenstransfer dienlich sein können:

- „Lernen und Arbeiten in Gruppen,
- Nutzung von Hilfsmitteln“ (MANDL et al. (2002), S. 141).

Darüber hinaus sind Ansätze des situierten Lernens nicht nur durch den Fokus auf die Situation, die den Lernprozess umgibt, sondern eben auch durch eine wesentliche Problemorientierung gekennzeichnet (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 55). Dabei soll insbesondere das aktive Lösen komplexer Probleme zu einer Steigerung der Anwendungsqualität des erworbenen und konstruierten Wissens führen (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 55). Unterschiedliche Ansätze variieren in der theoretischen Ausarbeitung und der praktischen Umsetzung, weisen jedoch speziell den Einsatz multimedialer Lernumgebungen als geeignetes Instrument aus und führen zu folgenden gemeinsamen Forderungen bezüglich der Gestaltung solcher Umgebungen (vgl. MANDL et al. (2002), S. 143 f.):

- Komplexe Ausgangsprobleme: Basis des Lernprozesses sollte ein interessantes Problem sein, das motivierend wirkt und zum „Lösen-wollen“ anregt. Auch soll sich der Lernende zum Auffinden verschiedener Lösungswege herausgefordert fühlen (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 55).
- Authentizität und Situiertheit: Die Lernumgebung soll dem Lernenden einen Rahmen für das zu erwerbende Wissen zur Verfügung stellen, der es ihm ermöglicht, mit realitätsnahen Problemen umzugehen.

- **Multiple Perspektiven:** Die Lernumgebung soll dem Lernenden erlauben, die Problemstellung(en) aus verschiedenen Perspektiven wahrnehmen zu können, um dadurch auch eine flexible Anwendung des Wissens zu fördern und zu unterstützen.
- **Artikulation und Reflexion:** Um die Abstrahierung des Wissens zu fördern, sollen die Prozesse der Problemlösung zunächst formuliert und dann auch durchdacht werden. Durch die Verknüpfung des vom Lernenden selbst abstrahierten Wissens mit Situationsbezügen ist dieses anwendbar.
- **Lernen im sozialen Austausch:** Auch dem sozialen Kontext sollen Lernumgebungen eine hohe Bedeutung beimessen, in dem sie kooperatives Lernen und auch den Austausch mit Experten fördern.

Nachfolgend sollen zwei der bekanntesten Ansätze situierten Lernens, der Anchored Instruction-Ansatz und der Cognitive Apprenticeship-Ansatz, kurz vorgestellt werden.

4.1.2.1 Anchored Instruction

Der Anchored Instruction-Ansatz wurde zu Beginn der 1990er-Jahre von der Cognition and Technology Group at Vanderbilt (CTGV) unter der Leitung von John Bransford (BRANSFORD et al. (1990)) entwickelt. Ansatzpunkt war das mit „trägem“ Wissen verbundene Problem des traditionellen Unterrichts, dass nicht die Form von Wissenstransfer erzeugt und ermöglicht wird, die gerne gewünscht wäre (vgl. BRANSFORD et al. (1990), S. 115). Im Mittelpunkt des Anchored Instruction-Ansatzes steht eine sinnstiftende Darstellung einer Problemsituation, die als komplexer Ankerreiz dienen soll und den Lernenden damit zu einer ausführlichen Beschäftigung mit der Problemstellung anregen und zudem die Anwendbarkeit von Wissen verbessern soll (vgl. MANDL et al. (2002), S. 144). Letztendlich sollen in einer explorativen Weise Probleme erkannt und gelöst werden. Dabei sollen narrative Anker, also Verknüpfungen von Inhalten mit Geschichten helfen, Gelerntes transferierbar zu machen. Anchored Instruction steht in unmittelbarer Verbindung zu fallbasierten und problemorientierten Formen des Lernens, in denen beabsichtigt wird, Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten durch komplexe und realitätsnahe Problemstellungen zu erzeugen (vgl. CTGV (1997), S. 47).

Die bekanntesten Umsetzungen des Konzeptes sind von der CTGV unter der Bezeichnung „The Adventures of Jasper Woodbury“ für den Mathematikunterricht an Mittel- und Oberstufen entworfen worden (siehe CTGV (1997)). Dabei steht die Förderung mathematischen Denkens, aber auch die allgemeine Problemlösefähigkeit im Mittelpunkt (vgl. CTGV (1992), S. 66). Niegemann et al. beschreiben diese Geschichten als „Bestandteil einer technologiebasierten Lernumgebung zur Lösung mathematischer und anderer Problemstellungen“ und führen sieben bei deren Verwirklichung verwendete Gestaltungsprinzipien auf (NIEGEMANN et al. (2008), S. 25 f.):

- Verwendung audiovisueller Medien.
- Aufbau einer narrativen Struktur (die Problemstellungen werden im Rahmen einer Geschichte vorgestellt).
- Komplexe, oft interdisziplinär konstruierte Probleme sollen zur Aktivität anregen und gelöst werden.
- Alle relevanten Daten und Informationen sind in die Geschichte eingebettet.
- Darbietung einer sinnvollen Komplexität.
- Präsentation von jeweils zwei Geschichten zum gleichen Lerninhalt, zur Förderung des Abstrahierens und des Wissenstransfers.
- Unterschiedliche Wissensdomänen sollen miteinander verknüpft werden.

Niegemann et al. weisen auf die Ähnlichkeit des Anchored Instruction-Modells mit „Projektunterricht in seiner didaktisch sinnvollen Form“ und auf Untersuchungsergebnisse hin, die die positiven Wirkungen des Ansatzes aufzeigen (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 26). Diese sind einerseits in der Motivation des Lernenden, andererseits aber auch in der Selbststeuerung des Lernprozesses zu sehen (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 58 f.).

Nicht hinreichend diskutiert sehen De Witt und Czerwionka die Ausprägungen eines förderlichen Verhaltens des Lehrenden und die Probleme, die sich aus einer gewünschten Gruppenarbeit ergeben könnten (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 59). Kritisch angesprochen werden muss auch der

enorme Aufwand, der mit der Erstellung der den hohen Anforderungen situier- ten Lernens gerecht werdenden Lernumgebungen verbunden ist, sowie die Tatsache, dass technologiebasierte Lernumgebungen zwar die Lücke zwischen Lern- und Anwendungssituation verkleinern, jedoch nicht ganz zu schließen vermögen (vgl. MANDL et al. (2002), S. 148).

4.1.2.2 Cognitive Apprenticeship

Angelehnt an eine klassische Lehre im Handwerk sieht sich der Lernende im Cognitive Apprenticeship-Ansatz (BROWN et al. (1989)) zu Beginn mit umfangreicher und im weiteren Verlauf des Lernprozesses kontinuierlich abnehmender Unterstützung und äußerer Anleitung konfrontiert. Dies soll gewährleisten, dass neues Wissen oder auch neues Verhalten anfangs adäquat erlangt und danach selbstgesteuert und selbstkontrolliert angewendet werden kann (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 28). Durch den Austausch gemachter Erfahrungen beim Lösen von Problemen zwischen dem Anfänger (Lernender) und einem Experten (Lehrender) werden gemachte Denkprozesse und angewandtes Wissen öffentlich und der Lernende fasst Fuß in einer „Expertenkultur“ (vgl. MANDL et al. (2002), S. 145). Lernen soll dabei aktiv und in sozialem Kontext stattfinden (vgl. BROWN et al. (1989), S. 32).

Der klassische Aufbau eines Lehr-/Lernprozesses nach dem Cognitive Apprenticeship-Ansatz ist durch sechs Schritte gekennzeichnet, die im Folgenden kurz vorgestellt werden sollen (vgl. hierzu NIEGEMANN et al. (2008), S. 29). Die ersten drei Schritte zielen auf den Erwerb neuen Wissens und neuer Verhaltensweisen ab (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 29). Die Schritte vier und fünf sollen bereits einen selbstgesteuerten Umgang in bewusster und kontrollierter Form ermöglichen, und Schritt sechs betont letztendlich die gewünschte Autonomie des Lernenden (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 29). Der Cognitive Apprenticeship-Ansatz ist somit kein ausschließlich explorativer Ansatz, sondern beginnt stets expositorisch, wobei die externe Steuerung Schritt für Schritt heruntergefahren wird (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 30).

1. Modeling: Im ersten Schritt führt der Experte ein Verfahren, eine Verhaltensweise oder dergleichen derart ein, dass er vom Lernenden dabei genau beobachtet werden kann. Auf dieser Basis soll der Lernende ein

eigenes Konzept notwendiger Verfahrensschritte erzeugen, um dann später das Verfahren selbst durchführen zu können. Der Experte hat auch Einblicke in interne Strukturen und Prozesse zu geben, über diese zu informieren und diese auch zu begründen.

2. Coaching: In diesem Schritt führt der Lernende die Verhaltensweisen selbst unter Betreuung eines Experten durch. Dieser prüft die Vorgehensweise, gibt dabei Tipps und macht gegebenenfalls einzelne Schritte noch einmal vor. Hier ist auch die Analogie zum Sport und einem guten Coach zu erwähnen.
3. Scaffolding: Für diesen Schritt ist erforderlich, dass der Experte die bis hierhin entwickelten Fähigkeiten des Lernenden präzise beurteilen kann, um ermessen zu können, wie viel Anleitung und Unterstützung noch notwendig ist. In dieser Kooperation von Experte und Lernendem soll dem Lernenden bereits möglichst viel Selbständigkeit eingeräumt werden. Hierzu ist auch angedacht, dass der Experte sich Zug um Zug zurücknimmt (Fading).
4. Articulation: Artikulation meint, dass die Benennung des eigenen Wissens, Denkens und Problemlösungsverhaltens anzuregen und zu fördern ist. Hilfreich können hier gezielte Fragen, aber auch die Anweisung, etwas neu zu definieren (Redefining) oder selbst zu formulieren sein.
5. Reflection: Hier soll der Lernende dazu befähigt werden, sein eigenes Wissen und auch das eigene Vorgehen im Vergleich zu einem Experten oder zu anderen Lernenden beurteilen zu können. Notwendig ist hierbei, sich Bewusstsein über das eigene Wissen und Handeln zu schaffen. Diesen Vorgang gilt es durch passende Betrachtungstechniken (etwa Videoaufzeichnungen) zu unterstützen.
6. Exploration: Selbständige Exploration ist als letzte Stufe im Cognitive Apprenticeship-Ansatz aufgeführt. Auf dieser Stufe hat sich der Experte vollständig herausgenommen. Der Lernende sollte einen Sachverhalt nun derart beherrschen, dass er zu diesem nicht nur die passenden Fragen stellen, sondern auch den geeigneten Bezugsrahmen finden und die richtigen Antworten erzeugen kann.

Diese Schrittfolge bringt auch zum Ausdruck, dass der Lernende beim Cognitive Apprenticeship-Ansatz den entsprechenden Problemstellungen nicht alleine gegenüber steht, sondern in Abhängigkeit der jeweiligen Stufe des Kompetenzerwerbs instruktionale Unterstützung erhält, die sich in Umfang und Ausprägung unterscheidet (vgl. MANDL et al. (2002), S. 146). Beim Einsatz dieser sechs Schritte ist zudem eine passende praxisbezogene „Situierung“ und auch die Verwendung unterschiedlicher Perspektiven von großer Bedeutung (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 29). Hierzu wird auch empfohlen, eine Problemstellung zunächst aus einer übergeordneten Perspektive zu beschreiben und untergeordnete Aspekte erst später zu betrachten, so dass eine Beurteilung des Zusammenspiels bestimmter Komponenten mit Blick auf das Gesamtziel möglich wird (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 60).

Nach der Vermutung von Niegemann et al. ist Cognitive Apprenticeship das international verbreitetste Modell des Instruktionsdesigns, das zudem als empirisch bewährt zu betrachten ist (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 30). Obwohl dieser Ansatz anfänglich für den lehrerorientierten Unterricht entworfen wurde, sind bereits zahlreiche multimediale Lernumgebungen basierend auf diesem Konzept gestaltet worden, wobei sich dieses insbesondere für die Einführung in neue Lerninhalte eignet, gerade auch dann, wenn das Hauptaugenmerk auf kognitiv-prozeduralen Lernprozessen liegt (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 30). Hier nennen Mandl et al. etwa die Mediziner Ausbildung, in der fallbasiertes Lernen vielfach gründend auf dem Cognitive Apprenticeship-Ansatz eingesetzt wird. Gerade da auch solche Lernformen an realen Patienten nicht in unbegrenztem Ausmaß umgesetzt werden können, werden multimediale Lernumgebungen genutzt, die als Bindeglied zwischen theoretischen Lehrveranstaltungen und Unterricht am Patienten fungieren und so die angehenden Ärzte im Erwerb von anwendungsorientiertem Wissen zur Diagnose und Therapie diverser Erkrankungen im entsprechenden Teilgebiet der Medizin unterstützen (vgl. MANDL et al. (2002), S. 147).

Kritisch angesprochen werden muss jedoch auch hier der immense Aufwand, den die hohen Anforderungen des Ansatzes für die Erstellung von Lernumgebungen mit sich bringen, um diese dann auch wirklich gewinnbringend einsetzen zu können (vgl. SCHWETZ et al. (2001), S. 105).

4.1.2.3 Weitere praktische Theorien

Um hier die Worte von Niegemann et al. zu verwenden, so ist anzumerken, dass die Reihe der hier vorgestellten Theorien bei Weitem nicht abgeschlossen ist (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 37), sondern lediglich einige sehr bekannte, für die Konzeption multimedialer Lernumgebungen besonders relevante Ansätze ausgewählt wurden. Um noch einige weitere praktische Theorien aufzuzählen und kurz zu beschreiben, wäre hier etwa mit der Cognitive Flexibility-Theorie (SPIRO et al. (1988)) zu beginnen.

Im Mittelpunkt deren Betrachtung steht die Förderung der Fähigkeit bereits vorhandenes Wissen und Fertigkeiten auf neue, komplexe Problemstellungen transferieren zu können (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 62), um dadurch flexibel auf neue Anwendungssituationen reagieren zu können (vgl. SPIRO et al. (1988), S. 375). Dazu wird der Lernende unmittelbar mit der Komplexität realer Situationen und Abläufe konfrontiert, wobei Vereinfachungen als hemmend für die Gesamtentwicklung im Lernprozess betrachtet werden (vgl. SPIRO et al. (1988), S. 376). Vielmehr soll sich der Lernende dem zu erlernenden Konzept ausgehend von diversen Aspekten und verschiedenen Blickwinkeln nähern, also multiple Perspektiven (vgl. MANDL et al. (2002), S. 144) und eine aktive partizipative Position im Lernprozess einnehmen (vgl. SPIRO et al. (1988), S. 378), um dadurch auch eine hohe Vernetzung des Wissens zu erreichen (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 62).

Durch die besondere Hervorhebung der Komplexität ist natürlich auch die Frage angebracht, wie früh der Lernende mit welchem Ausmaß an Komplexität konfrontiert werden kann, ohne Überforderung, Desorientierung und Demotivation beim Lernenden zu bewirken (vgl. SCHWETZ et al. (2001), S. 106). Für die Umsetzung dieses Konzeptes spielen auch neue Medien eine große Rolle, wobei hierbei bevorzugt nichtlineare, multimediale Lernumgebungen zum Einsatz kommen (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 62).

Nun soll abschließend noch ein Blick auf das Vier-Komponenten-Instruktions-Designmodell (4C/ID), das von Jeroen van Merriënboer und Sanne Dijkstra insbesondere für das Training komplexer kognitiver Fähigkeiten entwickelt wurde (VAN MERRIËNBOER und DIJKSTRA (1997)), erfolgen.

Der Aufbau entsprechender Expertise hinsichtlich komplexer kognitiver Fähigkeiten ist insbesondere dadurch gekennzeichnet, dass deren Aufbau relativ lange Zeit benötigt und sich gerade eben auch deswegen in diesen Bereichen Fachleute markant von Laien abheben (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 32). Das 4C/ID-Modell ist speziell für das Training solcher Fähigkeiten vorgesehen mit entsprechendem Augenmerk auf das Vermitteln von Handlungswissen, wobei der Wissenserwerb diesem funktional untergeordnet ist – damit ist gemeint: „Wissen wird dabei nicht um seiner selbst willen vermittelt“ (NIEGEMANN et al. (2008), S. 32).

Auf der Grundlage kognitionspsychologischer Lerntheorien umfasst die Vorgehensweise des 4C/ID-Modells vier Schritte oder Ebenen (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 32):

- Dekomposition: Aufteilung der zu erlernenden Fähigkeit in ihre grundlegenden Teilfähigkeiten.
- Analyse: Untersuchung der ausgemachten Teilfähigkeiten und des dafür notwendigen Wissens.
- Auswahl: Ermittlung geeigneter Instruktionmethoden für den Wissenserwerb sowie für das Üben der ausgemachten Teilfähigkeiten und auch der zu vermittelnden Fähigkeit insgesamt.
- Komposition: Zusammensetzung der Trainingsstrategie und Erstellung der Lernumgebung.

Auf jeder der vier Ebenen sind dann vier Designkomponenten, bezogen auf Routine- oder heuristische Tätigkeiten, zu berücksichtigen (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 32 ff.):

- Komponente K – Wissenskompilierung: Analyse der Teilfähigkeiten, die wiederholt anzuwenden sind und deren Durchführung wenige kognitive Ressourcen beansprucht und die somit routinemäßig durchgeführt werden. Diese Analyse ist Grundlage für die Konzeption der Teilaufgaben, deren Üben die Bildung von Routine fördern soll.

- Komponente V – Vorwissen/Voraussetzungen: Untersuchung des Vorwissens, das für die Routinetätigkeiten erforderlich ist. Auf Basis dieser Analyse werden Methoden für die Vermittlung dieses Wissens konzipiert und zwar so, dass dieses „just-in-time“, also bei der Ausführung einer Übung, vermittelt wird.
- Komponente I – Induktion: Betrachtung von Teilfähigkeiten, die nicht auf routinemäßige Aufgaben bezogen sind und der komplexen Problemlösungen zugeordnet werden (heuristische Fähigkeiten). Auf Basis dieser Analyse werden umfassende Übungen erstellt. Deren Training soll dem Aufbau kognitiver Strukturen durch Elaboration der gegebenen Informationen dienlich sein.
- Komponente E – Elaboration: Untersuchung des Vorwissens, das für die nicht routinisierbaren Fähigkeiten erforderlich ist. Auf Basis dieser Analyse werden Methoden entworfen, um dieses Wissen durch das Üben umfassender Aufgaben zu vermitteln. Deren Training soll dem induktiven Erwerb kognitiver Strukturen dienlich sein. Der Lernende soll ein tiefgreifendes Verständnis bzgl. der funktionalen Zusammenhänge ausbilden.

Mit Blick auf die Designaufgaben findet grundsätzlich eine Differenzierung zwischen der „Konzeption der Wissensvermittlung und der Konzeption von Übungs- und Anwendungsaufgaben“ statt, wobei der Mittelpunkt des 4C/ID-Modells die „Konzeption umfassender Übungs- und Anwendungsaufgaben“ darstellt und „schließlich die Entwicklung von Lernumgebungen im Sinne eines Arrangements von Situationen, in denen komplexe kognitive Fähigkeiten ganzheitlich vermittelt und geübt werden können“ (NIEGEMANN et al. (2008), S. 35).

„Das 4C/ID-Modell gilt derzeit international als wichtigstes Modell für das Training komplexer kognitiver Fähigkeiten“ (NIEGEMANN et al. (2008), S. 36). Das Modell, bei dessen Realisierung digitale Medien natürlich eine gewichtige Rolle spielen, zielt speziell auf die Beziehung der einzelnen Komponenten bei der Entwicklung einer Lernumgebung im Ganzen ab (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 37).

4.1.3 Folgerungen für die konkrete Software-Gestaltung im vorliegenden Fall

Aus den bisherigen Betrachtungen ergeben sich diverse Folgerungen für die konkrete Software-Gestaltung im Hinblick auf das Erlernen von Methoden des Operations Research und speziell des betrachteten IP-Verfahrens, die hier nun aufgeführt und erläutert werden sollen.

Die Software soll dem Lernenden ein aktives, exploratives Lernen ermöglichen (gemäß des Anchored Instruction-Ansatzes in Abschnitt 4.1.2.1, S. 131 ff.) und dabei eine passiv adaptive Rolle einnehmen. Sie soll dabei keinen ausschließlich explorativen Ansatz darstellen, sondern durchaus auch expositorisch beginnen, wobei die externe Steuerung Schritt für Schritt in Abhängigkeit vom Lernenden heruntergefahren werden kann (dem Cognitive Apprenticeship-Ansatz in Abschnitt 4.1.2.2, S. 133 ff. folgend). Basierend auf diesem Ansatz kann die Software als Experte betrachtet werden, die Schritt für Schritt in das Verfahren einführt und vom Lernenden zunächst nur beobachtet werden kann. So kann der Lernende für sich ein Konzept notwendiger Verfahrensschritte entwickeln. Nach eigenem Ermessen kann der Lernende Schritte selbst vornehmen, Parameter wählen und sich so in den Verfahrensablauf einbringen. Dazu soll der Lernende von der Software „betreut“ werden – sie soll seine Eingaben überprüfen und ihm auch Tipps geben. Durch Wiederholungen soll dem Lernenden das Trainieren der für die Algorithmenlehre erforderlichen kognitiven Fähigkeiten (siehe hierzu das 4C/ID-Modell in Abschnitt 4.1.2.3, S. 136 ff.) ermöglicht werden.

Die Lernsoftware soll dem Lernenden unterschiedliche Darstellungen des Lerninhalts anbieten (gemäß der geforderten multiplen Perspektiven der Cognitive Flexibility-Theorie in Abschnitt 4.1.2.3, S. 136 ff.), ihm die Entscheidung aber nicht abnehmen. Die aktive Position des Lernenden ist zentraler Bestandteil sämtlicher ID-Modelle der zweiten Generation (siehe Abschnitt 4.1.2, S. 127 ff.). Um diese Position zu unterstreichen soll der Lernende selbst nach eigenen Stärken, Interessen und Vorlieben die von ihm bevorzugte Darstellungsart, die Sequenzierung des Lernangebots und insgesamt betrachtet den Lernweg auswählen können. Dazu sind die Lerninhalte entsprechend aufzubereiten und dem Lernenden zur Verfügung zu stellen. Hier soll folglich nicht die Intelligenz des

Lernsystems ausgebaut werden, sondern Intelligenz in die Art und Weise, wie das Lernangebot dem Lernenden dargeboten und zugänglich gemacht wird, einfließen (vgl. KERRES (2001), S. 73), um bei der Auswahl dann auch den Lernenden mit seinen Erfahrungen und Präferenzen miteinbeziehen zu können. Gleichzeitig soll die Software so gestaltet sein, dass es dem Lernenden möglich ist, sich die Lernumgebung nach individuellen Präferenzen anzupassen, sie zu adaptieren. Der Lernende soll hier die Möglichkeit bekommen, bestimmte Parameter selbst festlegen zu können, die beispielsweise die Anordnung von Elementen und die Navigation betreffen.

Das Lernsystem soll multimedial gestaltet sein. Es sollen textliche Informationen, eingelesene und erzeugte Abbildungen und Animationen zum Einsatz kommen. Dabei ist besonderes Augenmerk auf die Eignung ausgewählter Codierungsformen für entsprechende Sachverhalte und die Vereinbarkeit verschiedener medialer Formen zu achten. Diese sollen sich in ihrem Aussagegehalt ergänzen und nach Möglichkeit nicht überschneiden, um dadurch Konzentration und Verarbeitungskapazität des Lernenden nicht zusätzlich zu fordern.

Darüber hinaus sollten jedoch auch Informationen, Veranschaulichungen und Erläuterungen in unterschiedlichen Codierungsformen bereitgestellt und vorgehalten werden, um diese dem Lernenden zur Auswahl zur Verfügung zu stellen, so dass er diese auch im Zuge seines selbstbestimmten Lernweges integrieren kann.

In diesen Zusammenhängen, und damit auch zentral für die Gestaltung der Software, spielt der Begriff der Interaktivität ebenfalls eine entscheidende Rolle. Unter diesem verstehen Baumgartner und Payr „die Möglichkeit, daß der Benutzer nicht bloß Rezipient ist, sondern in den medial vermittelten Informations-, Kommunikations- und Lernprozeß gestaltend einbezogen ist“ (BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 128). Dabei sind zahlreiche und auch verschiedenartige Formen von Interaktion denkbar (siehe hierzu 5.1.1, S. 160 ff.). Diese sind so auszuwählen und zu gestalten, dass sie dem Lernziel dienlich sind. Dem Lernenden soll ein individueller Lernweg ermöglicht werden, den es an Aktivität zu bereichern gilt.

4.2 Anforderungen an die Lernsoftware aus dem Anwendungsfall der IP-Methoden

Anfangen mit der Betrachtung dessen, wozu die Lernsoftware entwickelt werden soll, hat die Lernsoftware dies dem Lernenden gegenüber auch darzulegen. Sie hat dem Lernenden die Voraussetzungen und Anforderungen für den angedachten Lernprozess mitzuteilen und soll auch darüber informieren, welche Rolle sie dabei einnimmt, auf welche Art und Weise sie unterstützend zur Erreichung des Lehrziels beiträgt.

Der Lernende soll die grundsätzliche Vorgehensweise von IP-Methoden verstehen und dabei insbesondere das grundlegende Verfahren von Dikin kennenlernen. Die Software soll so konzipiert sein, dass sie den Lernenden dabei unterstützt ein Verständnis für die Vorgehensweise des Algorithmus und dessen Anwendbarkeitskriterien zu erhalten. Letztendlich soll die Software den Lernenden dazu befähigen, das Verfahren von Dikin auf ein LP-Problem in Standardform anzuwenden, dieses mit Hilfe der IP-Methode zu lösen und die gewonnene Lösung in Bezug auf das zugrunde liegende Problem zu interpretieren.

Bei der Vorgehensweise der IP-Methoden, wie auch beim Kern der Algorithmenlehre insgesamt, handelt es sich um prozedurales Wissen (vgl. Abschnitt 3.5.1, S. 107 ff.). Die Verfahren sind zur Lösung einer Klasse von Problemen vorgesehen (hier mit Augenmerk auf lineare Programme) und durch eine endliche Menge von Regeln definiert, die in bestimmter Reihenfolge angewendet und nach bestimmten Bedingungen wiederholt werden. Dies ist in der Konzeption der Lernsoftware, die wie schon in Abschnitt 3.4.1 auf Seite 98 erwähnt, nach Magenheim „eine in ihr vergegenständlichte Abfolge von Interaktionen und Rückmeldungen mit den Nutzern“ (MAGENHEIM (2004), S. 258) impliziert, und „die unter didaktischen und lerntheoretischen Erwägungen implementiert“ (MAGENHEIM (2004), S. 258) werden soll, zu berücksichtigen.

Die Lernsoftware mit ihrer Abfolge von Interaktionen und Rückmeldungen basierend auf didaktischen und lerntheoretischen Aspekten soll den Lernenden also in die Lage versetzen, zu verstehen, wann welche Schritte durchzuführen und warum diese zur Lösung des Problems erforderlich sind. Dazu hat sie Re-

geln vorzustellen, diese zu erklären, Vorgänge zu visualisieren und ein Üben zu ermöglichen. Natürlich sind dabei auch erforderlich Begriffe und Definitionen vor- und darzustellen.

Die Software soll so konzipiert sein, dass sie eine Strukturierung des komplexen Sachverhalts des IP-Algorithmus ermöglicht und den abstrakten Sachverhalt der IP-Methoden veranschaulicht. Dem Lernenden soll es möglich sein, sich anhand einer vorgegebenen Beispielaufgabe, aber auch unter Verwendung eigener Aufgabenstellungen mit dem Algorithmus auseinanderzusetzen. Dabei sollen die Anwendbarkeitskriterien des Verfahrens erläutert und das Verfahren Schritt für Schritt (auch in wählbaren Detaillierungsgraden) durchlaufen werden. In jedem Schritt soll eine Regelerklärung, die Ausführung und dem Abstraktionsgrad angemessen eine Visualisierung erfolgen, um dem Lernenden die Entwicklung eines Verständnisses für die algorithmische Denkweise zu ermöglichen.

Soll dem Lernenden jedoch ein tieferes Verständnis der Vorgehensweise des Verfahrens ermöglicht werden, so spielen pragmatische Aspekte eine entscheidende Rolle. Der Lernende muss eine aktive Rolle basierend auf der kognitivistischen und der konstruktivistischen Lerntheorie (vgl. Abschnitte 3.1.3, S. 81 ff. und 3.2.3, S. 91 ff.) einnehmen können – sich also in die Lage versetzen können, Schritte des Verfahrens selbst durchzuführen und auch versuchen zu können. Dazu genügt es nicht, dem Lernenden nur die Steuerung der Abläufe zu überlassen. Dies kann zwar nützlich sein, um Teilschritte und deren Ausführungen und Auswirkungen zu betrachten und nachzuvollziehen – der Lernende soll aber aktiver und selbstgesteuerter agieren können. Diesbezüglich soll er die Möglichkeit haben, erforderliche Schritte zu prognostizieren, Teilschritte selbst auszuwählen und deren Folgen beobachten und beurteilen zu können, um sich so den Algorithmus selbst konstruieren zu können und sich das entsprechende Rüstzeug für den Umgang mit dem Verfahren anzueignen. Die Software soll dem Lernenden dadurch einen Ansatz zu aktivem und effizientem Lernen bieten und ihm den Ausbau seiner Handlungskompetenzen in diesem Bereich ermöglichen.

Die Lernsoftware soll in der Lage sein, mit einem auf die jeweilige Situation angepassten Feedback bzgl. der Auswahl von Verfahrensschritten, unter an-

derem auch mit Blick auf die Einhaltung der Regeln und deren Ausführung reagieren zu können, um dem Lernenden eine angemessene Beurteilung seiner Vorgehensweise ermöglichen und so auch den Ansatz zu aktivem und effizientem Lernen stärken zu können.

Darüber hinaus soll die Software so konzipiert werden, dass sie zur Festigung der kognitiven und auch pragmatischen Kenntnisse und Fertigkeiten dem Lernenden Wiederholungen in allen Bereichen (einzelne Schritte, Iterationen und auch das gesamte Verfahren) ermöglicht.

4.3 Entwicklung der didaktischen Grundstruktur einer OR-Lernsoftware nach dem 3-2-1-Modell von Kerres

4.3.1 Das 3-2-1-Modell didaktischer Elemente von Kerres und dessen Eignung für die Methodenlehre

Das 3-2-1-Modell didaktischer Elemente wurde von Michael Kerres für die Konzeption mediengestützter Lernangebote als Weiterentwicklung des Modells *Events of Instruction* von Robert Gagné entworfen (vgl. KERRES (2002), S. 7 und siehe Abschnitt 4.1.1, S. 123 ff.).

Kerres führt als Kritikpunkt unter anderem an, dass das Modell von Gagné durch den zur Entwicklungszeit dominierenden behavioristischen Lernansatz inspiriert ist, wodurch sich eine relativ starre Abfolge der Aktivitäten ergibt (vgl. KERRES (2002), S. 8). Auch erhält die Bedeutung sozialer Prozesse nicht die notwendige Beachtung. Hauptkritikpunkt seinerseits ist jedoch, „dass das Modell – unabhängig von den Rahmenbedingungen des didaktischen Feldes, wie z. B. Art der Lehrziele und Zielgruppe – immer dasselbe Vorgehen vorschlägt“ (KERRES (2002), S. 8).

An diesem Punkt anknüpfend ist die Weiterentwicklung von Kerres so gestaltet, dass abhängig von didaktischen Parametern (z. B. Zielgruppe, Lehrziel, Lehrinhalt, Lernsituation, ...) ein variabler Aufbau und Ablauf von Lernangeboten möglich ist (vgl. KERRES (2002), S. 8).

Kerres teilt die neun instruktionalen Ereignisse von Gagné (vgl. Tabelle 4.1, S. 125) in drei Gruppen auf, um damit auch zwischen zwingend erforderlichen und zusätzlich hilfreichen Elementen differenzieren zu können und zudem die Entscheidungsfindung bei der Konzeption von Lernangeboten zu vereinfachen (vgl. KERRES (2018), S. 335). Die didaktischen Elemente, die jeweiligen Funktionen im Lernprozess sowie mögliche methodische Varianten können der Tabelle 4.2 entnommen werden. Das Modell ist insbesondere auf Lernaufgaben fokussiert und nicht auf bestimmte Lerninhalte beschränkt. Somit ist es prinzipiell auch für die Methodenlehre des Operations Research geeignet.

Element	Didaktisches Element	Funktion im Lernprozess	<i>mögliche</i> methodische Varianten:
③	Lerninformation	Orientierung	Vortrag, selbstgesteuertes Lernen
	Lernmaterial	Anregung	selbstgesteuertes Lernen, Präsentation
	Lernaufgabe	Aktivierung	kooperatives Lernen
②	Kommunikation Kooperation	Unterstützung	tutoriell betreutes Lernen, sozial-kommunikatives Lernen
①	Test	Motivierung Orientierung	Zertifizierung, Testung, Selbstkontrolle

Tabelle 4.2: Das 3-2-1-Modell didaktischer Elemente nach Kerres (in Anlehnung an KERRES (2002), S. 8)

In minimaler Ausführung werden im Modell von Kerres drei Basiselemente als zwingend erforderlich für didaktisch aufbereitete Lernmedien erachtet (vgl. KERRES (2018), S. 336):

- Lerninformationen, die in grundlegender Weise der Orientierung dienen sollen.
- Lernmaterialien, die in unterschiedlich gearteter Form Lernprozesse anregen sollen.
- Lernaufgaben, die durch Anleitung zu Lernaktivitäten führen sollen.

Diese werden im Folgenden für die Lernsoftware zur betrachteten Inneren-Punkt-Methode (vgl. Abschnitte 2.4.1, S. 50 ff. und 2.4.2, S. 59 ff.) aufgeführt und beschrieben, um exemplarisch zu zeigen, wie diese gestaltet sein könnten und welchen Zweck sie erfüllen sollen.

4.3.2 3er-Element: Darstellung der Basiselemente

4.3.2.1 Lerninformationen

Diese grundlegenden Informationen (siehe Abbildung 4.2) sollen dem Lernenden zur Verfügung gestellt werden, um sich über Zielgruppe, benötigte Vorkenntnisse, Lehrziele, Aufbau und Ablauf der Lerneinheit in Kenntnis setzen zu können (vgl. KERRES (2002), S. 9). Beim Lernenden soll hier Aufmerksamkeit erzeugt und Interesse geweckt werden. Auf Basis des Lehrziels/der Lehrziele soll der Lernende realistische Erwartungen über das Lernergebnis bilden.

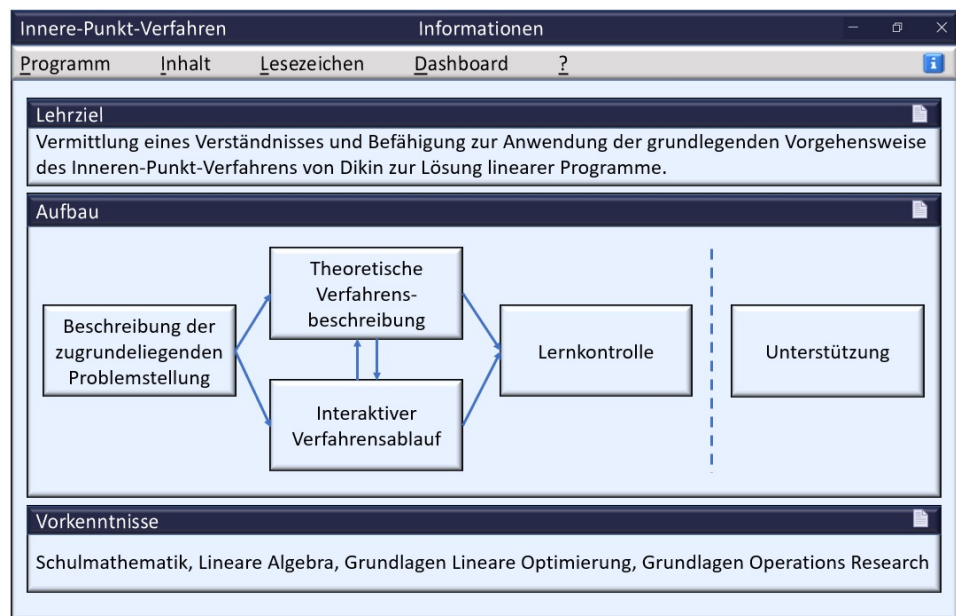


Abbildung 4.2: Lerninformationen

Die Lerninformationen helfen dem Lernenden sich zu orientieren (vgl. EBNER et al. (2003), S. 119) und sich Gewissheit darüber zu verschaffen, ob das Material dem entspricht, was er lernen möchte oder muss. Sie sind „ein wesentliches Merkmal eines *didaktisch aufbereiteten* Lernangebots“ und sollen gewährleisten, dass „Die Lernenden [...] die *passenden* Lernmaterialien finden“ (KERRES (2018), S. 336).

Diese Metainformationen sollten aufgrund ihrer Tragweite beim ersten Start des Lernprogramms angezeigt werden. Sie können dem Lernenden darüber hinaus im weiteren Verlauf jederzeit zugänglich gemacht werden. Beispielhaft ist das durch Anklicken eines „info-buttons“ (hier stets rechts oben auf der Benutzeroberfläche (siehe Abbildung 4.2)) umsetzbar.

Durch das Lehrziel wird festgelegt, welche Menge an Wissen und Fertigkeiten vom Lernenden nach dem Lernprozess beherrscht werden soll. Hier ist vorgesehen, dass der Lernende die grundlegende Begriffe, Regeln und Schritte des Verfahrens von Dikin zur Lösung linearer Programme kennenlernt. Er soll die Vorgehensweise des Verfahrens verstehen und dieses auf ein lineares Programm in Standardform anwenden können. Der Lernende soll sich hierzu ein Konzept notwendiger Verfahrensschritte entwickeln und sich das Rüstzeug für den Umgang mit dem Verfahren aneignen. Nach der Taxonomie der Lehrziele von Bloom wird somit Stufe 3 und damit der Einstieg in die erste Kompetenzebene, die Voraussetzung für die Erreichung weiterer Kompetenzebenen ist, angestrebt (vgl. Abschnitte 3.5.1, S. 107 ff. und 3.5.2, S. 117 ff.).

Auf der entsprechenden Informationsseite (Abbildung 4.2) sind das Lehrziel und andere Metainformationen zunächst nur in kurzer Form dargestellt, so dass der Lernende sich einen Überblick verschaffen kann. Durch Anwählen des „full-text-buttons“ (oben rechts im Bereich Lehrziel (siehe Abbildung 4.2)) lässt sich eine ausführliche Darstellung des Lehrziels abrufen (siehe Abbildung 4.3).

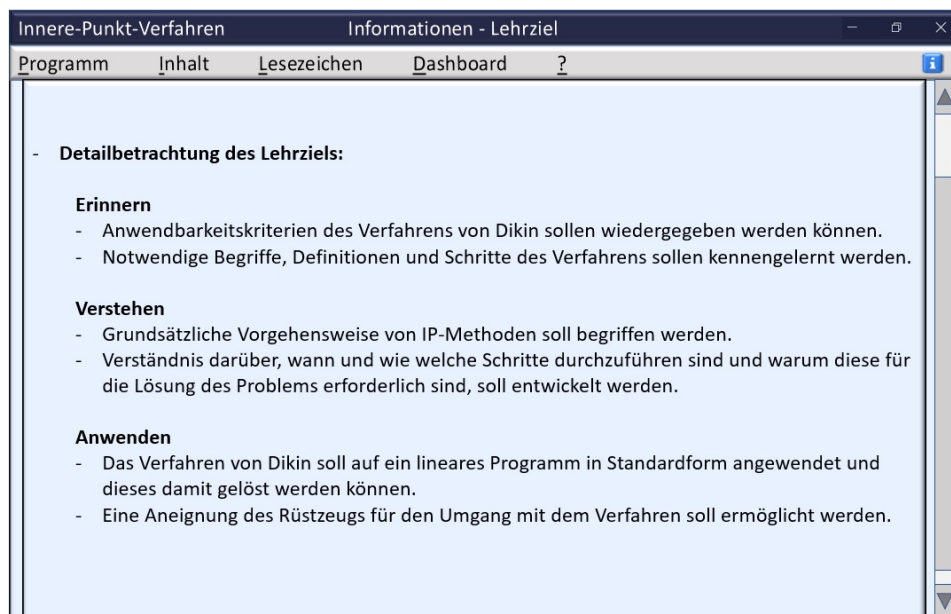


Abbildung 4.3: detaillierte Betrachtung des Lehrziels

Das gilt analog auch für die Beschreibung des Aufbaus und der Vorkenntnisse (siehe hierzu etwa Abbildung 4.4).

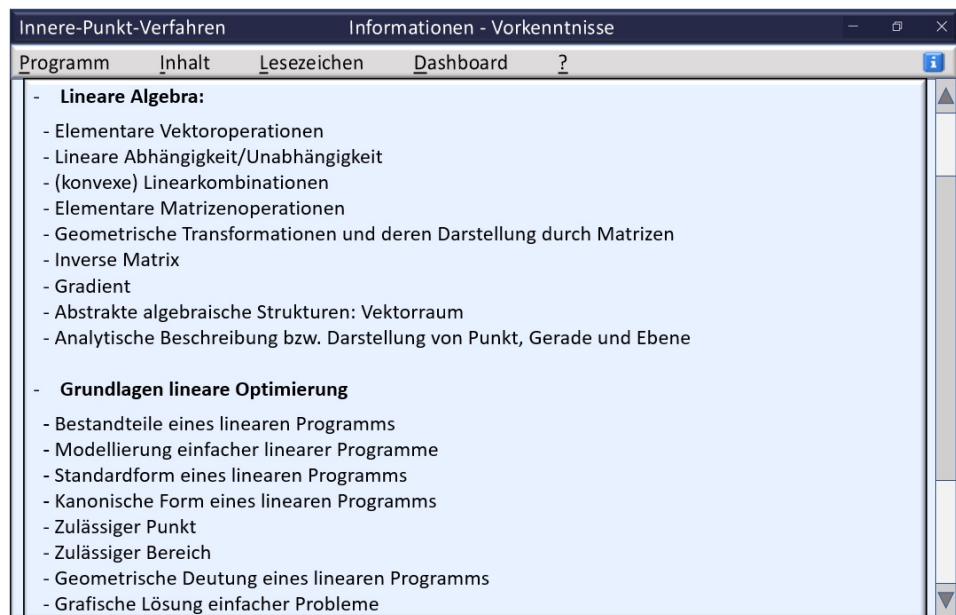


Abbildung 4.4: ausführliche Darstellung der erforderlichen Vorkenntnisse

In Abhängigkeit des vorgegebenen Lehrziels soll sich der Lernende dann, bewusst oder unbewusst, sein Lernziel setzen. Eine Bedingung für erfolgreiches Lernen ist, dass das Lernziel des Lernenden mit dem formulierten Lehrziel im Kern übereinstimmt bzw. in Einklang gebracht wird. Lehr- und Lernziel sind also in erster Linie präskriptiv.

Da Lernen immer inhaltsbezogen ist, sind in der Software die konkreten Inhalte, mit denen es sich auseinanderzusetzen gilt, anzugeben, um gewünschte Fähigkeiten, Fertigkeiten, Kompetenzen und Wissen zu erwerben. Parallel ist dem Lernenden mitzuteilen, wie er sich mit den Inhalten auseinanderzusetzen hat, welches Verhalten von ihm gewünscht wird. Hier soll eine Kombination aus selbstgesteuertem und handlungsorientiertem Lernen stattfinden. An den entsprechenden Stellen werden diese Punkte weiter erläutert.

4.3.2.2 Lernaufgabe

Die Lernaufgabe wird auf der Startseite (Abbildung 4.5) vorgestellt. Die Problemstellung ist in Form eines linearen Programms, das ausgehend von einem ersten inneren Punkt mit Hilfe des Verfahrens von Dikin gelöst werden soll, gegeben. Hier findet die Anknüpfung an das Vorwissen des Lernenden und

gleichzeitig die Aktivierung des Lernprozesses statt (vgl. EBNER et al. (2003), S. 119). Die Vorgabe eines Ausgangsbeispiels hat den Vorteil, durch eine bewusst gewählte Problemgröße (Anzahl Variablen und Restriktionen) Einfluss auf die Komplexität zu nehmen und zusätzlich den Einstieg zu erleichtern.

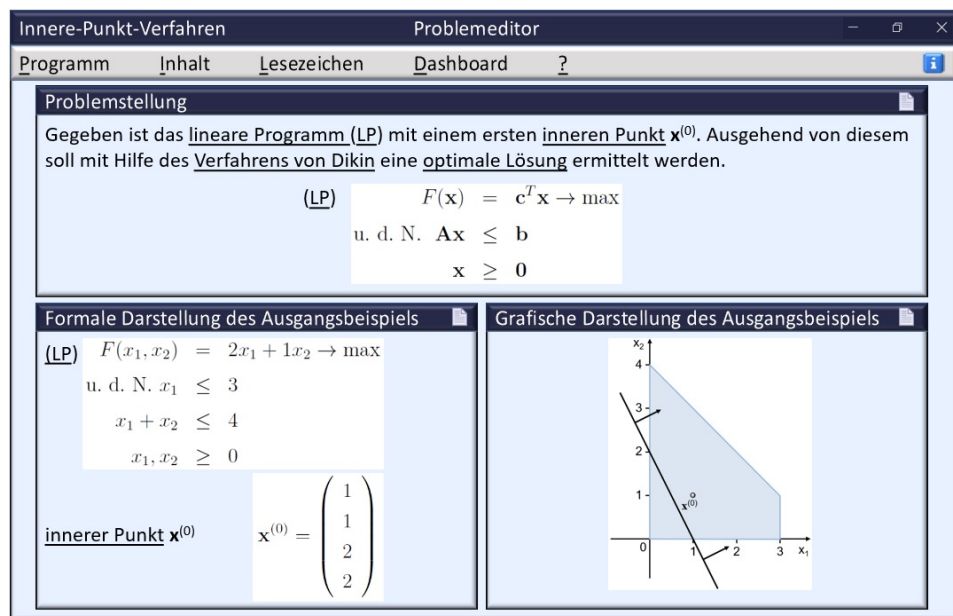


Abbildung 4.5: Lernaufgabe – vorgegebene Problemstellung

Anstelle des vorgegebenen Beispiels besteht für den Lernenden die Möglichkeit, das Verfahren mit einer eigenen Aufgabe zu bearbeiten (siehe Abschnitt 5.3.3, S. 188 ff. und insbesondere Abbildung 5.18, S. 191). Durch Eingabe der Anzahl Variablen und der Anzahl Restriktionen wird die Problemgröße festgelegt. Basierend darauf werden die Eingabefelder für die eigene Beispielaufgabe vorbereitet. Nach erfolgter Eingabe kann das so erstellte lineare Programm auch gespeichert werden, so dass der Lernende jederzeit wieder Zugriff auf dieses nehmen kann. Wird mit einem eigenen Beispiel gearbeitet, dann findet zu Beginn eine Analyse der Problemdata statt. Dabei wird überprüft, ob das eingegebene lineare Programm mit dem Inneren-Punkt-Verfahren bearbeitet werden kann und der ausgewählte Ausgangspunkt auch tatsächlich ein zulässiger innerer Punkt ist.

4.3.2.3 Lernmaterial

Das Lernmaterial ist in zwei Bereiche, eine Lernumgebung zur Vermittlung der Theorie des IP-Verfahrens und eine interaktive, beispielorientierte Lernumgebung für die genannte Methode, unterteilt. Im theoretischen Lernteil (siehe Abschnitt 5.3.2, S. 179 ff.) handelt es sich dabei um eine Kombination aus linear aufgebauten Abschnitten und hypertextuell und hypermedial organisierten Interaktionsräumen. In diesem Bereich soll das Lernmaterial präsentiert und der Lernende dazu angehalten werden, sich mit den Materialien auseinanderzusetzen und diese aufzunehmen.

Im interaktiven, beispielorientierten Lernteil (siehe Abschnitt 5.3.3, S. 188 ff.) soll der Lernende in die Lage versetzt werden, das Innere-Punkt-Verfahren von Dikin basierend auf der gewählten Aufgabenstellung (vorgegeben oder selbst eingegeben) Schritt für Schritt durchlaufen zu lassen, entsprechende Zwischenergebnisse zu betrachten und auch mit in das Verfahren einzugreifen. In diesem Bereich wird überwiegend prozedurales Wissen (vgl. Abschnitt 3.5.1, S. 107 ff.) generiert. Ein angestrebtes Ziel soll mit Hilfe eines Verfahrens erreicht werden. Das Ziel wird dazu in Teilziele zerlegt. Zu deren Erreichung ist die Auswahl und Beschreibung notwendiger Handlungen bzw. Operationen erforderlich.

Die Präsentation des Lernmaterials ist mit die wichtigste Aufgabe der Lernsoftware. Die Beschreibung der Gestaltung des Lernmaterials im Detail erfolgt in Abschnitt 5.3, S. 176 ff. dieser Arbeit.

4.3.3 2er-Element: Unterstützung und Hilfestellungen

4.3.3.1 Allgemeine Formen der Unterstützung

Zusätzlich zu den aufgeführten drei Basiselementen können zur Erreichung von Lehrzielen unterstützende Elemente – von Kerres werden hier „Kommunikation“ und „Kooperation“ genannt – vorgesehen werden, die im Gegensatz zu den Basiselementen als nicht zwingend notwendig und somit als optional betrachtet werden (vgl. KERRES (2018), S. 337).

Als einfach umzusetzendes Element der Unterstützung zur Klärung von Begrifflichkeiten und elementaren Zusammenhängen ist hier ein Glossar (siehe

Abbildung 4.6) zu nennen. Dieses beinhaltet ausgewählte Begriffe und deren Erklärungen, um bei Bedarf das Verständnis diesen gegenüber zu fördern. Dabei können in einem Glossareintrag auch Verweise auf andere Einträge enthalten sein (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 231).



Abbildung 4.6: Beispielausschnitt – Glossar

Zusätzlich könnte als weiteres Instrument der asynchronen Kommunikation ein Diskussionsforum implementiert werden. Diese Variante bringt das sozial-kommunikative Lernen zum Tragen und könnte eine Ebene darstellen, die die Lernenden zum Austausch von Erfahrungen und für gegenseitige Rückmeldungen nutzen könnten, um dadurch zu einem besseren Verständnis zu gelangen (siehe hierzu etwa WODNIOK und BOENIGK (2018), S. 252 f.). Durch eine Moderation könnte der Nutzen des Forums weiter gesteigert werden. Da das Nachvollziehen im Diskurs das Verständnis komplexer Sachverhalte fördert (vgl. KERRES (2018), S. 338), bietet sich ein solches Instrument auch insbesondere bei der Methodenlehre des Operations Research an.

Der Lernende darf sich in der Auswahl der Hilfestellung frei fühlen. Auch soll durch die unterschiedlichen Möglichkeiten eine Vielfalt von Lernenden mit unterschiedlichen Vorlieben und Vorgehensweisen Berücksichtigung finden.

4.3.3.2 Kontextsensitive und adaptive Möglichkeiten der Unterstützung

Eine weitere Form der Unterstützung sind sogenannte kontextsensitive Hilfen. Eine Hilfefunktion kann im Unterschied zu einer kontextfreien Hilfe dann als kontextsensitiv bezeichnet werden, wenn die durch die Lernsoftware bereitgestellte Hilfestellung auf die aktuelle Situation des Lernenden mit den aktuell betrachteten Inhalten passt. Der Lernende wird hier dann mit zugeschnittenen Hilfestellungen und Anregungen versorgt. Sollte der Lernende also feststellen, dass er mit einem bestimmten Inhaltspunkt, einer konkreten Aufgabenstellung oder Problemsituation nicht in ausreichendem Maß zurechtkommt, so kann er die kontextsensitive Hilfefunktion in Anspruch nehmen, die ihm dann spezifische Erläuterungen und Erklärungen oder aber auch Hinweise auf Stellen anbietet, an denen er weitere Informationen zur konkreten Fragestellung finden kann. Erkennt die Software dabei den augenblicklichen „Standort“ des Lernenden und bietet ihm bei einem Hilfesuch dann auch „standort“angepasste Hilfen an, so wird die Software im Hinblick auf die Zurverfügungstellung kontextsensitiver Hilfen als adaptiv bezeichnet (vgl. LEUTNER (2002), S. 121).

So kann etwa bei der Wahl eines Parameters oder der Auswahl eines Verfahrensschrittes beim Lernen von Methoden des Operations Research ein falsch gewählter Wert oder Verfahrensschritt durch entsprechende Hinweise vom Lernenden selbst reflektiert, der korrekte Wert oder der nächste Schritt nachgelesen und dann im weiteren Verlauf des Verfahrens ordnungsgemäß realisiert werden (siehe hierzu beispielsweise Abbildung 5.20 auf Seite 193). Auf diese Weise können Theorie und Praxis miteinander verbunden werden und das erforderliche Wissen entsprechend im Gedächtnis verankert werden.

Leutner verweist hier auf eine Reihe von Experimenten, die aufzeigen, dass adaptive Hilfen beim entdeckenden Lernen genau dann fördernd sind, wenn die in einer Problemsituation notwendigen Informationen für den Lernenden verfügbar sind und auf die entsprechenden Quellen adaptiv aufmerksam gemacht wird (vgl. LEUTNER (2002), S. 122 f.). Entsprechende Hinweise sollen genau dann erfolgen, wenn die Information zum einen nützlich ist und zum anderen vom Lernenden noch nicht wahrgenommen wurde (vgl. LEUTNER (2002), S. 123).

Sicherlich ist eine solch adaptive und kontextsensitive Hilfe mit großem planerischem und auch hohem Aufwand bei der Implementierung verbunden, wenn diese auch entsprechend didaktisch sinnvoll umgesetzt werden soll. Der Nutzen in Form eines höheren Lernerfolgs durch adaptive Systeme konnte jedoch in Metaanalysen nachgewiesen werden (vgl. LEUTNER (2002), S. 123). Dieser Nutzen muss letztendlich ins Verhältnis zum erhöhten Aufwand gesetzt werden, um die Frage danach, ob die adaptive Gestaltung lohnend ist, zu beantworten (vgl. LEUTNER (2002), S. 124 f.). Es müssen dazu dann, wie an anderen Stellen eben auch betriebswirtschaftliche Überlegungen mit hinzugezogen werden (vgl. LEUTNER (2002), S. 124).

4.3.4 1er-Element: Konstruktion einer Umgebung für Lernkontrolle und -transfer

4.3.4.1 Aufbau und Ablauf einer Testsequenz

Im 3-2-1-Modell von Kerres stellen Tests ein weiteres optionales Element eines Lernangebots dar. Im Modell instruktionaler Ereignisse von Gagné stellen diese ein wichtiges Element dar und ihnen wird große Bedeutung zugemessen (vgl. Punkt 8 in Tabelle 4.1, S. 125). So ist ein wesentliches Merkmal der auf behavioristischen Lerntheorien basierenden Programme die fortlaufende Überwachung des Lernfortschritts durch Tests. Auch der Zugang zu weiteren Teilen des Programms wird mitunter auch vom Testausgang abhängig gemacht (vgl. KERRES (2002), S. 10). Mit zunehmender Bedeutung kognitiver und konstruktivistischer Ansätze ist die Relevanz von Tests immer mehr in Frage gestellt worden (vgl. KERRES (2018), S. 338).

Hinzu kommt auch, dass die technische Umsetzung von Testumgebungen, die entsprechenden didaktischen Ansprüchen genügen, insbesondere auch aufgrund der benötigten Mechanismen zur Bewertung von Antworten und Aktionen des Lernenden, mitunter sehr aufwendig ist. Nichtsdestotrotz werden hier kurze Testsequenzen als Feedback und zur Motivation des Lernenden als sinnvoll betrachtet. Sie sollen eine Erfolgskontrolle ermöglichen und dabei auch die Aktivierung des Lernenden fördern (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 202 f.). Die Durchführung dieser Sequenzen sollte jedoch freiwillig sein und der Entscheidung des Lernenden obliegen.

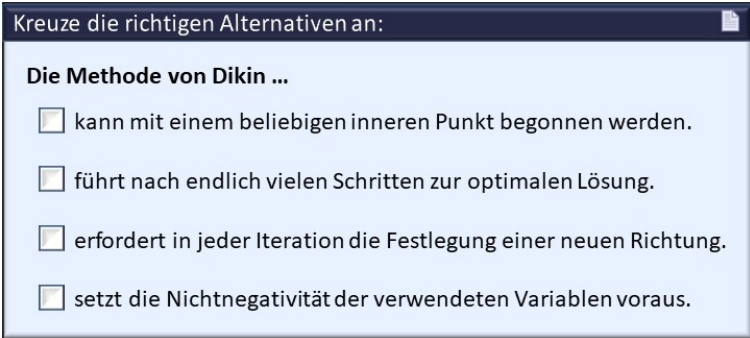
Neben der Unterstützung von Lernprozessen stehen zunehmend auch Möglichkeiten einer softwaregestützten Wissens- und Kompetenzüberprüfung im Fokus, wobei sogenannte E-Assessment-Systeme Features für die elektronische Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von Lernfortschrittskontrollen bereitstellen (vgl. EHLERS et al. (2013), S. 227). Hier ist natürlich auch die automatisierte Abwicklung von Korrekturen innerhalb des technisch Machbaren von Bedeutung (vgl. EILERS et al. (2008), S. 231 f.), so dass der Lernende umgehend ein entsprechendes Feedback erhalten kann.

Eine Lernfortschrittskontrolle beinhaltet dabei „die Abfrage, Messung und Bewertung des internalisierten Wissens und Fähigkeiten sowie der Methodenbeherrschung und damit insgesamt der erworbenen Kompetenzen von Lernenden“ und „soll Informationen über den aktuellen Stand des Wissens und der Fähigkeiten liefern“ (EHLERS et al. (2013), S. 228). Der erfolgreiche Abschluss eines softwaregestützten Tests sollte natürlich nie alleine für die Beurteilung des Lernerfolgs herangezogen werden, allerdings erlaubt die Analyse und Auswertung zumindest die Feststellung, ob denn wichtige Voraussetzungen für eine gelungene Wissensanwendung gegeben sind (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 203). Tests können bei der Bildung und Vertiefung von Wissen und Fertigkeiten hilfreich sein, zudem können auch eigene Fehler erkannt und in Zusammenhang mit dem eigenen Lernverhalten gebracht werden (vgl. EHLERS et al. (2013), S. 229). Letztendlich soll eine Testsequenz aus Sicht des Lernenden dazu beitragen, dass dieser seinen eigenen Wissensstand besser bewerten und einordnen kann (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 203). Diesen Beitrag können Tests natürlich auch in der Methodenlehre des Operations Research leisten.

Ein möglichst aufschlussreiches Ergebnis soll auch durch die Wahl einer geeigneten Mischung aus geschlossenen und offenen Frage- und Aufgabentypen, also durch die Verwendung konvergenter und divergenter Aufgaben, erreicht werden. Konvergente Aufgaben zeichnen sich durch eine exakt definierte Lösungsmenge und basierend darauf durch eine einfache Bewertung und die Möglichkeit eines exakteren Feedbacks aus (vgl. EHLERS et al. (2013), S. 232). Durch die Verwendung divergenter Aufgaben kann zum einen Hintergrundwissen, zum anderen aber auch ein Lösungsweg oder eine entsprechende Begründung besser erfasst werden (vgl. EHLERS et al. (2013), S. 232). Letztendlich sollten

die Aufgaben auch einem angemessenen Niveau entsprechen, eine gewisse Diversität aufweisen und fordernd sein (vgl. etwa BLUMSTENGEL (1998), S. 205).

Zur Anwendung können insbesondere die zu den konvergenten Aufgaben gehörenden Multiple-Choice-Aufgaben kommen, bei denen keine bis alle vorgegebenen Antwortmöglichkeiten richtig sein können. Zwar wird dieser Aufgabentyp durchaus kritisch betrachtet (vgl. etwa SCHULMEISTER (1996), S. 274), jedoch kann die Qualität von Multiple-Choice-Aufgaben bei guter Aufgabenstellung, angemessenem Feedback und entsprechender Gestaltung sehr hoch sein (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 204). Durch entsprechende Ausgestaltung können damit auch Lernziele bezogen auf Anwendung und Verständnis erfasst werden (vgl. EHLERS et al. (2013), S. 231). Außerdem ist dieser Aufgabentyp vergleichsweise einfach zu implementieren und auch bezüglich der Auswertung mit verhältnismäßig geringem Aufwand einzustufen. In den Abbildungen 4.7 und 4.8 sind hierzu zwei Beispiele zu finden.

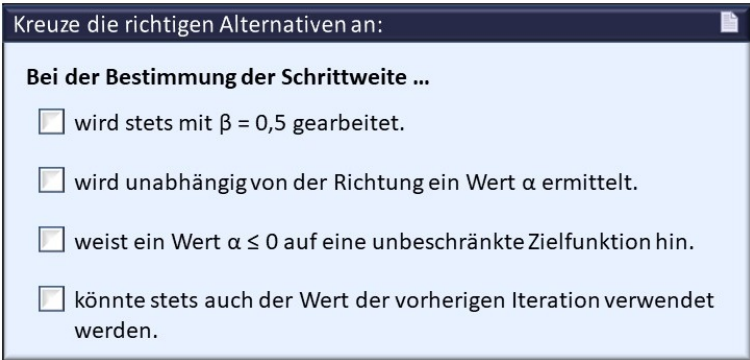


Kreuze die richtigen Alternativen an:

Die Methode von Dikin ...

- kann mit einem beliebigen inneren Punkt begonnen werden.
- führt nach endlich vielen Schritten zur optimalen Lösung.
- erfordert in jeder Iteration die Festlegung einer neuen Richtung.
- setzt die Nichtnegativität der verwendeten Variablen voraus.

Abbildung 4.7: Beispiel 1: Multiple-Choice-Aufgabe



Kreuze die richtigen Alternativen an:

Bei der Bestimmung der Schrittweite ...

- wird stets mit $\beta = 0,5$ gearbeitet.
- wird unabhängig von der Richtung ein Wert α ermittelt.
- weist ein Wert $\alpha \leq 0$ auf eine unbeschränkte Zielfunktion hin.
- könnte stets auch der Wert der vorherigen Iteration verwendet werden.

Abbildung 4.8: Beispiel 2: Multiple-Choice-Aufgabe

Neben diesem Aufgabentyp können auch die zu den divergenten Aufgaben zählenden Short-Answer-Aufgaben und numerische Aufgaben zum Einsatz kommen. Diese verlangen vom Testteilnehmer eine Reproduktionsleistung, da entsprechende Antwortmöglichkeiten nicht vorgegeben sind. So wird etwa bei den Short-Answer-Aufgaben die Eingabe eines Wortes oder eines kurzen Textes verlangt. Bei den numerischen Aufgaben wird die Eingabe eines Wertes erwartet, der durchaus auch das Ergebnis einer oder mehrerer komplexer Rechenoperationen sein kann. Formfehler sollten dabei möglichst direkt bei der Eingabe verhindert werden (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 204).

Nachfolgend ist jeweils ein Beispiel für eine Short-Answer-Aufgabe (Abbildung 4.9) und eine numerische Aufgabe (Abbildung 4.10) aufgeführt. Letztere beinhaltet eine kleine Aufgabenstellung, die unter anderem auch mit der Lernsoftware bearbeitet und gelöst werden könnte.

Trage die Antwort in das Feld ein:

Der gesuchte Schritt wird zu Beginn jeder Iteration durchgeführt und bewirkt, dass der jeweils aktuelle Punkt $\mathbf{x}^{(i)}$ auf \mathbf{e} abgebildet wird. Dadurch liegt in den neuen Koordinaten jede Komponente gleich weit vom Rand entfernt.

Wie lautet der gesuchte Schritt?

Abbildung 4.9: Beispiel: Short-Answer-Aufgabe

Trage die Lösung in das Feld ein (runde auf zwei Nachkommastellen):

Wende die Methode von Dikin auf das folgende Problem an:

$$F(x_1, x_2) = 1x_1 + 2x_2 \rightarrow \max$$

u. d. N. $3x_1 + 9x_2 \leq 18$
 $x_2 \leq 4$
 $x_1, x_2 \geq 0.$

Führe eine Iteration aus. Wähle dabei $\beta=1/2$ und den

Startpunkt $\mathbf{x}^{(0)} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 6 \\ 3 \end{pmatrix}.$ **Gib den Wert $F(\mathbf{x}^{(1)})$ an:**

$F(\mathbf{x}^{(1)}) \approx$

Abbildung 4.10: Beispiel: Numerische Aufgabe

Natürlich könnten Aufgabenstellungen, die frei zu beantworten sind, sehr ergiebig und aufschlussreich mit Blick auf den Wissenstand sein. Allerdings müsste bei der Auswertung solcher Freitexteingaben ein sehr hoher Aufwand betrieben werden, da die Möglichkeiten einer semantischen Analyse des eingegebenen Textes nach wie vor beschränkt sind (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 204). Durch die Lernsoftware produzierte Rückmeldungen sollten detailliert erfolgen und auch Rückschlüsse auf die Frage nach der Bewertung der gegebenen Antwort zulassen und im Falle einer falschen Antwort Hinweise auf die richtige Antwort in Verbindung mit einer Erklärung liefern (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 205).

Diesen Punkt abschließend kann festgehalten werden, dass digitale Medien nicht nur in Lehr-/Lernprozessen, sondern auch in Test- und Prüfungsprozessen, also im E-Assessment, eine sowohl unterstützende als auch bereichernde Wirkung haben können (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 129). E-Assessment kann neben einer Verbesserung der Effektivität und Effizienz auch zu einer Steigerung der Qualität der Assessment-Prozesse beitragen, sofern neben technischen Rahmenbedingungen eben auch diverse didaktische, methodische und organisatorische Aspekte berücksichtigt werden (vgl. EHLERS et al. (2013), S. 236). Die Effektivität lässt sich dabei durch eine für den gegebenen Einsatzzweck passende Konfiguration erhöhen, um dadurch auch noch besser erworbenes Wissen überprüfen zu können. Effizienzsteigerungen ergeben sich etwa durch Zeitersparnis in der Auswertung oder aber durch den geringeren Personaleinsatz bei der Prüfungsdurchführung.

4.3.4.2 Dashboard – Element für Kennzahlen des Lernfortschritts

Ein Dashboard steht für eine grafische Benutzeroberfläche zur Visualisierung von Daten, die dem Nutzer zur Verfügung gestellt werden und diesem einen Erkenntnisgewinn bringen sollen. Stephen Few, einer der führenden Experten auf dem Gebiet des Information Designs, definiert den Begriff des Dashboards als eine visuelle Darstellung der wichtigsten Informationen, die zur Erreichung eines oder mehrerer Ziele erforderlich sind (vgl. FEW (2006), S. 34). Die Informationen sind dabei auf einer Bildschirmseite zusammengefasst und so angeordnet, dass sie sich auf einen Blick überwachen lassen (vgl. FEW (2006), S. 34).

Durch die zunehmende Verwendung digitaler Medien und Systeme nimmt die Verwendung und auch die Bedeutung sogenannter Analytics-Dashboards zu (vgl. SCHWENDIMANN et al. (2017), S. 30). Dashboards sind mittlerweile in vielen unterschiedlichen Bereichen zu finden. So haben diese in die industrielle Produktion schon lange Einzug erhalten und sorgen beispielsweise in verschiedenen Bereichen für eine Visualisierung bestimmter Kennzahlen der Produktion, anhand derer Tendenzen und Diskrepanzen ersichtlich werden und auf Basis derer entsprechende Maßnahmen eingeleitet und ergriffen werden.

Mittlerweile ist auch der Nutzen von Dashboards für Lehr- und Lernprozesse erkannt worden, so dass diese auch in den Bereich der Lehre Einzug erhalten haben. Darüber hinaus sorgt die zunehmende Digitalisierung im Bereich der Lehre für ein breiteres Anwendungsgebiet dieses Instruments. In diesem Zusammenhang wird von sogenannten Learning Analytics Dashboards (LADs) gesprochen.

Learning Analytics ist ein aufstrebender Bereich, der sich mit der Messung, Erfassung, Analyse und Übermittlung von Daten, die mit dem Lernen der Schüler/Studierenden und deren Umgebung verbunden sind, befasst (vgl. PARK und JO (2015), S. 110). Damit wird der Zweck der Förderung des Verständnisses und der Optimierung des Lernens und auch der Umgebung, in der dieses stattfindet, verfolgt.

Ein LAD kann dabei als interaktive, personalisierte und analytische Kontroll- und Überwachungsanzeige betrachtet werden, die unter anderem Lernmuster, -status und -leistung der Lernenden widerspiegelt (vgl. PARK und JO (2015), S. 112). Dieses dient der Visualisierung relevanter Informationen. LADs werden im klassischen Präsenzunterricht, in der Online-Lehre und auch in Blended-Learning-Konzepten verwendet (vgl. VERBERT et al. (2013), S. 1502). Dabei ist insbesondere zu unterscheiden, ob die Informationen für den Lehrenden oder den Lernenden zur Verfügung stehen (vgl. VERBERT et al. (2013), S. 1500).

Hier soll der Fokus auf die Ebene des einzelnen Lernenden gelegt werden. Grundidee des Dashboards ist in diesem Fall, dem Lernenden einen Gesamtüberblick über die für ihn und seinen Lernprozess wichtigen Informationen zu

liefern. Demnach ist das Dashboard so zu konzipieren, dass es dem Lernenden ermöglicht, eigene Aktivitäten zu verfolgen, um die Gewinnung von Erkenntnissen und die Reflexion von Lernprozessen zu fördern. Damit stellt es auch ein Element des konstruktivistischen Lernprozesses dar (vgl. Abschnitt 3.2.3, S. 91 ff.). Darüber hinaus kann dem Lernenden auch die Möglichkeit eingeräumt werden, eigene Aktivitäten mit den Aktivitäten anderer zu vergleichen, um auch daraus Schlüsse für die eigene weitere Vorgehensweise ziehen zu können.

Anfangen von der bisher aufgebrauchten Gesamtzeit über für einzelne Einheiten verwendete Zeiten bis hin zur Anzahl einzelner Inhaltszugriffe sind relevante absolute Kennzahlen zu nennen. Dazu können relative Größen, wie etwa das Verhältnis aus besuchten Seiten zu Seiten insgesamt oder mit Blick auf die Bearbeitungsschritte eines Algorithmus die Anzahl der betrachteten Schritte im Verhältnis zu den durchzuführenden Schritten insgesamt genannt werden. Vielfach können diese Größen, wenn diese ins Verhältnis zu den Werten anderer Lernenden gesetzt werden, zusätzliche Schlüsse für das eigene Lernverhalten ermöglichen. Weitere Erkenntnisse können gewonnen werden, wenn zusätzliche Informationen aus einer Testumgebung (siehe vorheriger Abschnitt 4.3.4.1, S. 152 ff.) mit einfließen. Dem Lernenden kann dazu etwa die Anzahl der richtig beantworteten Aufgabenstellungen im Verhältnis zu den Aufgaben insgesamt, oder auch der nach Inhaltsbereichen ausgewertete Kenntnisstand zugänglich gemacht werden.

Darüber hinaus kann der Lernende auch auf wichtige noch nicht besuchte oder für den Lernfortschritt wesentliche weitere Inhalte hingewiesen werden. Das Dashboard sollte hierzu als eigenständiges Modul so in die Lernsoftware integriert werden, dass der Lernende dieses zu jeder Zeit aufrufen kann.

Abbildung 4.11 stellt exemplarisch eine mögliche Umsetzung eines Dashboards für die Methodenlehre des Operations Research dar.

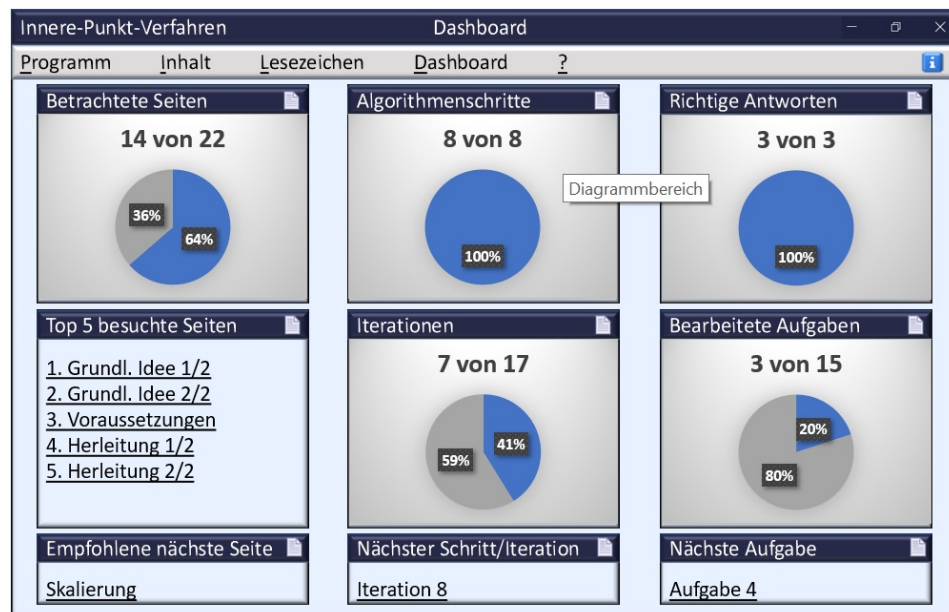


Abbildung 4.11: Dashboard

Im Bereich der Learning Analytics Dashboards wird überwiegend auf Protokolldaten zurückgegriffen. In erster Linie dient folglich ein Dashboard dazu, Daten in für den Lernenden geeignete und nützliche Informationen zu überführen. Dabei ist insbesondere auch darauf zu achten, die Informationen effektiv und effizient zu übertragen.

Dank der menschlichen visuellen Wahrnehmungsfähigkeit ist eine visuelle Darstellung oft effektiver als geschriebener Text (vgl. MAZZA (2009), S. 2). Damit stellen visuelle Darstellungen von Daten ein valides Kommunikationswerkzeug dar und können bei der Erreichung von Zielen hilfreich sein (vgl. MAZZA (2009), S. 4).

Zur visuellen Darstellung von Informationen stehen verschiedenste Formen zur Verfügung. Angefangen bei einfachen Linien-, Balken-, Säulen-, Kreisdiagrammen über Histogramme, Scatterplots, Schlagwortwolken bis hin zu Bullet- und Gauge-Graphen ist hier eine enorme Vielfalt gegeben. Deshalb sei für die Auswahl von Darstellungsformen, zur Gestaltung einzelner Elemente bis hin zum Gesamtentwurf eines Dashboards etwa auf FEW (2006) verwiesen.

Kapitel 5

Zur Detailausgestaltung der Lernsoftware

5.1 Interaktivität und Ablaufsteuerung in der Lernsoftware

5.1.1 Nutzen verschiedener Interaktionsformen für Lernfortschritt und Lernziel

Bereits 1992 hat Euler ein grundsätzliches Modell für Lernsoftware aufgestellt (EULER (1992)), das von den folgenden vier hauptsächlichen Programmkomponenten ausgeht, die ferner den lernpsychologischen Merkmalen einer Lernsoftware entsprechen (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEBERG (2002), S. 230 f.):

- Präsentationskomponente: dient der interessanten und ansprechenden Darstellung der Informationen,
- Interaktionskomponente: maßgeblich für den aktiven Wissenserwerb,
- Ablaufsteuerungskomponente: verantwortlich für die Individualisierung des Lernprozesses,
- Motivierungskomponente: zuständig für Anregung und Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit.

Das Modell von Euler verdeutlicht dabei, dass die vier Hauptkomponenten in ständiger Verzahnung als Gestaltungsaspekte auf alle Bereiche einer Lernsoftware Einfluss nehmen (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEBERG (2002), S. 231).

Die Interaktivität wird als eine der bedeutendsten Eigenschaften von didaktischen Multimedia-Anwendungen betrachtet (siehe hierzu auch 3.4.1, S. 98 ff. und 4.1.3, S. 139 ff.), durch die unter anderem die Aktivität des Lernenden gefördert werden kann. Der aktiven Rolle des Lernenden wird in der konstruktivistischen Lerntheorie (siehe Abschnitt 3.1.3, S. 81 ff.) und im konstruktivistischen Lernprozess (vgl. Abschnitt 3.2.3, S. 91 ff.) zentrale Bedeutung beigemessen. So lässt sich mit Hilfe der Interaktivität der Konstruktivismus in einer Lernsoftware verwirklichen, lassen sich Lernender und Lerngegenstand gegenseitig koppeln, deshalb wird dieser hier zunächst Platz eingeräumt werden.

Basierend auf dem Begriff der Interaktion, abgeleitet aus den lateinischen Wörtern „inter = zwischen“ und „agere = handeln“, der die gegenseitige Beeinflussung und das „Miteinander-in-Verbindung-treten“ zwischen Individuen und sozialen Konstruktion beschreibt, fand in den 1980er-Jahren eine Erweiterung auf den Bereich der Mensch-Computer Interaktion (HCI = Human-computer interaction) (vgl. HAACK (2002), S. 128) und auch der Mensch-Programm-Interaktion statt. Der Begriff der Interaktivität ist davon abgeleitet und beschreibt die Eigenschaften einer Software, die dem Nutzer Eingriffs- und Steuerungsmöglichkeiten bieten, wobei unter anderem die aktive Rolle des Nutzers und auch die Freiheitsgrade der Auswahl als maßgeblich für die Interaktivität einer Software anzusehen sind (vgl. HAACK (2002), S. 128).

Übertragen auf eine Lernsoftware ist unter Interaktivität die Häufigkeit und Dimension technisch ausgelöster Aktionen zu verstehen und die Interaktion steht für die Auseinandersetzung des Lernenden mit den in der Software dargestellten Inhalten (vgl. SCHULMEISTER (2000), S. 48). Nach Schulmeister ist es demnach wichtig, eine Unterscheidung zwischen dem technischen Aspekt der Interaktivität und dem symbolischen Aspekt der Interaktion vorzunehmen, da dadurch der Programminhalt und die Intentionalität der Handlungen des Nutzers eine wichtige Funktion einnehmen und somit die Interaktion in der Lernsoftware zu einer kognitiven Handlung mit symbolischen Inhalten wird (vgl. SCHULMEISTER (2000), S. 48).

Interaktionen in Lernsoftware sind in unterschiedlichen Formen denk- und realisierbar und lassen sich grob in zwei Klassen unterteilen, die folgendermaßen

charakterisiert werden können (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 232):

- Steuerungsinteraktionen: diese betreffen die Navigations- und Systemfunktionen (z. B. Abfolge der Lernschritte, Auswahl von Inhalten, Speichern von Zwischenständen, Steuern von Ton-, Video- und animierten Sequenzen, ...)
- Didaktische Interaktionen: diese fördern direkt den Erkenntnisprozess (z. B. bei Animationen, Simulationen, Eingabe von Text und Parameterwerten, ...)

Die Grenze zwischen den beiden Interaktionskategorien verläuft dabei fließend (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 233 und siehe Abbildung 5.1).

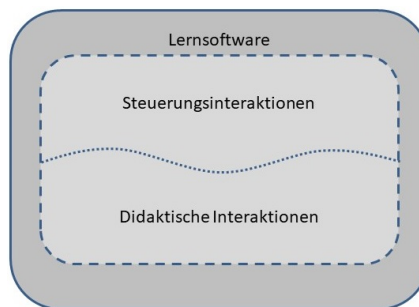


Abbildung 5.1: Fließende Grenze zwischen den Interaktionskategorien (in Anlehnung an STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 233)

Zum Bereich der einfachen und klassischen Steuerungsinteraktionen zählen dabei (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 233):

- „Steuerung des Programmablaufs,
- Auswahl der Inhalte und der Präsentationsformen,
- Steuerung der Wiedergabe von zeitbasierten Inhalten wie Ton oder Video,
- Auswahl des eigenen Lernwegs,“ (STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 233)
- Eingabe einzelner Begriffe (auch Suchbegriffe) als Form des Dialogs mit der Software.

Die erweiterten Interaktionsformen und damit der Bereich der didaktischen Interaktionen sind unter anderem charakterisiert durch (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 233):

- „Steuerung von interaktiven Animationen, Modellen und Simulationen – auch per Eingabe von Parametern“ (STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 233).
- Möglichkeit einer Mehrworteingabe (auch mit logischen Operationen) als Antwort auf komplexe Fragestellungen oder bei der Suche nach Informationen.
- Änderung und Adaption gegebener Daten und Lernwege.
Dies kann beispielsweise durch das Ändern relevanter Daten, das Markieren von Seiten oder auch durch das Erstellen individueller Links zwischen ausgewählten Informationsknoten geschehen.
- Gestaltung neuer multimedialer Daten oder Objekte durch den Lernenden.
- Adaptives Feedback und eine sich anpassende Hilfe durch die Lernsoftware.
Der Lernende erhält von der Software Rückmeldungen, die auf seine spezifischen Eingaben oder Interaktionen bezogen sind und bekommt zudem Hilfe angeboten, die in Bezug zu seinen gemachten Eingaben steht (vgl. Abschnitt 4.3.3.2, S. 151 f.).

Es ist darauf zu achten, nicht nur Interaktionsformen anzubieten, die dem Bereich der klassischen und einfachen Steuerungsinteraktionen zuzuordnen sind, da der Lernende sonst im Lernprozess lediglich die Position eines „passiven Rezipienten“ einnimmt (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 234).

Strzebkowski und Kleeberg sprechen in diesem Zusammenhang von „sinnvollen didaktischen Interaktionsformen“, wenn diese beim Lernenden

- „aktives Denken und intensive Elaborationsprozesse auslösen,
- expressive und kreative Tätigkeiten zulassen und fördern,

- zum einsichtsvollen, bedeutungsvollen und entdeckenden Lernen führen“ (STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 234).

Interaktivität bringt dabei einen lernpsychologischen Vorteil gegenüber linearen digitalen Lernformaten, indem Sie dem Lernenden zu dem spürbaren Gefühl verhilft, Relationen und Erkenntnisse eigenständig und aktiv entdecken und mit den gegebenen Informationen nach eigenen Wünschen und Erfordernissen verfahren zu können (vgl. SCHANK (1994), S. 77).

Die zentrale Aufgabe von Interaktionen in Lernsoftware ist in der „Verstärkung von Denk-, Erkenntnis- und Elaborationsprozessen“ (STRZEBKOWSKI (2001), S. 187) zu sehen. Interaktionen sollen sinnvoll eingesetzt werden, um den Erkenntnisprozess individuell, selbständig und bewusst beim Lernenden ablaufen zu lassen (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 231). So kann durch interaktive Elemente aktiv-exploratives Lernen auf Basis der Theorie des „Entdeckenden Lernens“ von Bruner (BRUNER (1973)) durch eigenes Untersuchen von Zusammenhängen in Systemen herbeigeführt werden. Diese Theorie beruht darauf, dass das selbständige Entdecken von Wirkungszusammenhängen zwischen Elementen in einem System das Begreifen der Funktionsweisen von Systemen erleichtert (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 143). Damit werden komplexe Sachverhalte verständlicher und lassen sich einfacher behalten (vgl. BRUNER (1973), S. 17), da die funktionalen Relationen in Schemen, Verfahren oder Systemen und hier im konkreten Fall der Inneren-Punkt-Methode aufgedeckt werden. Dadurch wird beständigeres Wissen gebildet, da neue Informationen in kognitiver Interaktion mit bestehendem Wissen im Gedächtnis eingegliedert werden (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 230). Auch lassen sich die so gewonnenen Erkenntnisse leichter auf andere Problemstellungen übertragen, als wenn die Informationen in rein faktischer Form vermittelt werden (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 187).

Andererseits können gewisse Interaktionsformen auch genutzt werden, um Probleme beim Lernen mit Software wie bereits genannte kognitive Überlastung und Desorientierung, die so insbesondere auch in hypermedialen Lernumgebungen auftauchen können (vgl. KUHLEN (1991), S. 125), abgemildert und möglicherweise auch vermieden werden können.

So kann dem Lernenden beispielsweise ein grundlegend aufbereitetes Maß an Informationen zur Verfügung gestellt werden und Interaktivität zum Abruf zusätzlicher Informationen genutzt werden. Der Lernende kann selbst steuern, ob und wann er auf weitere Informationen zugreifen möchte. Dadurch kann auch eine Überlastung durch ein Überangebot an Informationen vermieden werden (vgl. WEIDENMANN (2002a), S. 96).

Zudem bieten, teilweise auch in Ergänzung zu in eher linear aufgebauten Medien verwendeten Orientierungshilfen wie etwa Register, Glossare oder Fußnoten, interaktive Navigationswerkzeuge die Möglichkeit zur Eindämmung genannter Probleme. Zu nennen sind hier beispielsweise (vgl. HAACK (2002), S. 131):

- History lists (Leseprotokolle): Diese enthalten eine Aufzeichnung der bisher betrachteten Seiten/Knoten und ermöglichen ein Zurückverfolgen des bisherigen Lernpfads.
- Breadcrumbs: Durch diese werden bereits betrachtete Seiten/Knoten markiert.
- Bookmarks (Lesezeichen): Hier kann der Lernende für sich wichtige Seiten/Knoten markieren und diese Markierungen anordnen.
- Paths: Hier werden vorgegebene Lernpfade angeboten, die vom Lernenden in Anspruch genommen werden können.

Eine Übersicht und ausführliche Beschreibungen hierzu finden sich beispielsweise in HOFMANN und SIMON (1995), S. 42 ff.

5.1.2 Möglichkeiten der Individualisierung und Gestaltung individueller Lernwege

Der Interaktivität werden insbesondere zwei zentrale Funktionen zugesprochen (vgl. u. a. HAACK (2002), S. 129):

- Individualisiertes Lernen: Dieses findet dann statt, wenn die Interaktivität einer Lernsoftware so gestaltet ist, dass durch sie für den Lernenden eine Auswahl und Darstellung von Lerninhalten möglich wird, die seine Interessen und Lernbedürfnisse an entsprechenden Stellen im Lernprozess widerspiegelt.

- **Motiviertes Lernen:** Darunter ist der aktive Einbezug des Lernenden in den Lernprozess zu verstehen. Motiviertes Lernen kann erst recht durch Interaktivität gestärkt werden und soll in Abschnitt 5.2, S. 168 ff. aufgegriffen werden.

Als Schlüsselkomponente beim Lernen mit Software betrachtet, fördert Interaktivität also unter anderem den so bedeutenden Faktor der Individualisierbarkeit bei Lernprozessen (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 232). Dabei sind verschiedene Ausprägungen denkbar, die angefangen bei der Möglichkeit zur Auswahl gewünschter Informationen über deren Darstellungsform und die zeitliche Ablaufsteuerung bis zur Art und Weise der Erschließung, Anwendung und Überprüfung von Wissen reichen können (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 232).

Strzebowski liefert einen weiteren ausführlicheren Überblick über Auswahl- und Anpassungsmöglichkeiten. So sind durch interaktive Gestaltung unter anderem folgende Individualisierungen des Lernens möglich (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 141):

- Der Lernende kann über das Lerntempo bestimmen. Die auf einzelne Inhalte verwendete Zeit kann dabei alleine in der Hand des Lernenden liegen.
- Die Auswahl individueller Lernwege ist als ein zentrales Element zu betrachten. Der Lernende kann sich dabei die Reihenfolge einzelner Lerninhalte, in der jeweiligen Phase für ihn passend und angemessen, zusammenstellen.
- Dem Lernenden kann die Anpassung des Schwierigkeitsniveaus einzelner Aufgaben und Übungen an seine aktuellen Kompetenzen ermöglicht werden.
- Auch kann dem Lernenden die Bestimmung der Präsentationsform (Text, Bild, Video etc.) des Lernstoffes überlassen werden.
- Letztendlich kann auch die Bestimmung der Interaktionsform innerhalb der Lernsoftware (programmkontrolliert versus lernerkontrolliert) dem Lernenden zur Auswahl gestellt werden.

Bezug nehmend auf den letztgenannten Punkt ist bei der Gestaltung der Lernsoftware zu entscheiden, ob die Anpassungen durch den Lernenden vorgenommen werden sollen (Adaptierbarkeit der Lernsoftware) oder die Anpassungen durch die Lernsoftware in automatisierter Form (Adaptivitätsfähigkeit der Lernsoftware) durchgeführt werden.

Das Zusammenspiel zweckmäßiger Interaktionen innerhalb einer Lernsoftware hat entscheidende Auswirkungen sowohl auf die didaktische als auch auf die lernpsychologische Effektivität (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 188). Mittels einer durchdacht angelegten Interaktivität lässt sich die Konstruktion persönlicher Wissensstrukturen und die Entwicklung von Kompetenzen beim Lernenden begünstigen (vgl. Abschnitte 3.1.3, S. 81 ff. und 3.2.3, S. 91 ff.). In diesem Zuge ist eine weitgehende Selbststeuerung des Lernprozesses und damit die Aktivität des Lernenden zu fördern (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 229).

Dabei sind unter anderem folgende Prinzipien von Bedeutung (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 229 f.):

- der Lernende soll mit unterschiedlichen Perspektiven und Kontexten des Lerninhalts konfrontiert werden,
- der Lernende soll sich neue Informationen überwiegend auf explorative und assoziative Art und Weise erschließen können,
- das Lernen soll direkt in der Aktion stattfinden („Learning by doing“),
- der Lernende soll die Möglichkeit erhalten, sich eigene Inhalte zu konstruieren.

Strzebkowski und Kleeberg stellen zudem eine interessante Folgerung auf: „Je höher die Qualität der Interaktivität in einem Lernprogramm, desto effektiver ist seine lernpsychologische Wirkung“ (STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 230). Aktive und anschauliche Tätigkeiten des Lernenden tragen dazu bei, dass sich starke Wissensstrukturen bilden und die erworbenen Fähigkeiten und Fertigkeiten gefestigt werden (vgl. DÖRING (1991), 88 ff.).

Die aufwendigeren didaktischen Interaktionsformen können zudem handlungsorientiertes Lernen fördern (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 234), das auch in der Methodenlehre eine wichtige Rolle spielt.

5.2 Motivation und Möglichkeiten der Einflussnahme durch die Lernsoftware

5.2.1 Motivation und Lernen

Bereits bei der Betrachtung individueller Lernvoraussetzungen wurden Motivation und Emotion thematisiert (siehe Tabelle 2.2 auf Seite 38). Diese sind nicht nur bei der Beschäftigung mit dem Lerninhalt, sondern auch bei der kognitiven Verarbeitung des Erlernten zentrale und treibende Kräfte (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 209). Aufgrund dessen sind bei der Entwicklung von Lernsoftware neben der kognitiven Informationsverarbeitung auch emotionale und motivationale Wirkungen einer solchen zu berücksichtigen, da letztendlich keine effektive Kognition ohne Emotion und Motivation stattfinden kann (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 244 f.). Abbildung 5.2 stellt die Beziehung zwischen Motivation, Emotion und Kognition dar.

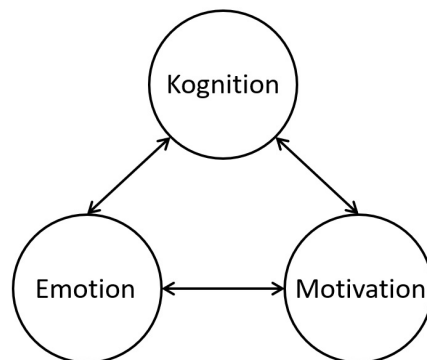


Abbildung 5.2: Beziehung zwischen Motivation, Emotion und Kognition (in Anlehnung an STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 244)

Besonderes Augenmerk wird im Folgenden der Motivation gewidmet. Der Begriff der „Motivation“ ist auf das lateinische Wort „movere“ zurückzuführen und lässt sich mit „sich oder etwas bewegen oder antreiben“ deuten. Generell wird zwischen intrinsischer und extrinsischer Motivation unterschieden und zwar abhängig davon, ob die antreibenden Kräfte in der Person selbst zu finden sind oder von außen kommen.

Bezogen auf den Prozess des Lernens bedeutet intrinsische Motivation ein in der Person des Lernenden liegendes Interesse, das auch durch Neugier, Drang

oder bestimmte Werte beschrieben werden kann und diesen dazu antreibt, konzentriert zu lernen. Im Falle hoher intrinsischer Motivation ist kein Steuerungsinstrument von außen erforderlich, um eine Tätigkeit mit Freude und Ausdauer durchzuführen, da diese um ihrer selbst willen durchgeführt wird (vgl. BRANDSTÄTTER et al. (2013), S. 91). Dies ist etwa der Fall, wenn eine Aufgabe als bedeutungsvoll wahrgenommen wird und diese auch Freiräume bei Entscheidungen bereitstellt.

Im Falle einer extrinsischen Motivation ist der Lernende durch äußere Faktoren wie etwa Überwachung, Belohnung oder soziale Bewertungen (Tadel, Lob) zum Lernen anzuhalten. Ein extrinsisch motiviertes Verhalten ist dabei oft direkt von äußeren Steuerungsorganen abhängig und ebbt ab, wenn deren Kontrollmechanismen unterbleiben (vgl. BRANDSTÄTTER et al. (2013), S. 91).

Zwischen intrinsischer und extrinsischer Motivation existieren Wechselwirkungen. So kann eine extrinsisch erfolgte Belohnung die intrinsische Motivation steigern, sie kann diese unter Umständen auch schmälern oder verdrängen. Dieses als Korrumpierungs- oder Verdrängungseffekt beschriebene Phänomen ist auf den Psychologen Edward Deci (DECI (1971)) zurückzuführen.

Die Ausprägung der Motivation in einem Lernprozess wird grundlegend bestimmt durch den Lernenden selbst, den Lerngegenstand inklusive didaktischer Aufbereitung wie auch durch die Lern- und Anwendungssituation (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 209).

Bezogen auf das Lernen mit einer Lernsoftware können diese Elemente genauer durch folgende Bestimmungsfelder formuliert werden (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 209):

- Individuelle Motive des Lernenden: Gründe für das Lernen mit einer Lernsoftware.
- Eigenschaften einer Lernsoftware: Art und Weise der inhaltlichen Aufbereitung, der didaktischen und multimedialen Gestaltung.
- Rahmenbedingungen, innerhalb derer der Lernprozess stattfindet (Lernsituation) und das Gelernte dann auch angewendet wird (Anwendungssituation).

Grafisch lassen sich diese Felder auch in einem sogenannten „Gewichtungs-Modell“ der Motivationslage darstellen (siehe Abbildung 5.3).

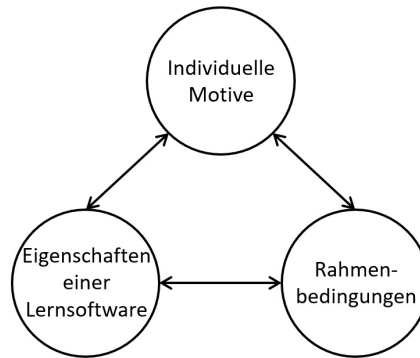


Abbildung 5.3: Bestimmungsfelder der Motivation (in Anlehnung an STRZEBKOWSKI (2001), S. 209)

In dieser Dreierkomposition sind die drei Aspekte als gleichgewichtig und demnach mit jeweils gleichem Beitrag zur Motivation dargestellt (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 210). Trägt ein Bestimmungsfeld mit niedrigerem Gewicht zur Gesamtlage bei, dann kann dies durch stärkere Ausprägungen in einem anderen Bestimmungsfeld kompensiert werden.

Mit Blick auf die Lernsituation ist ausschlaggebend, ob der Lernende intrinsisch oder extrinsisch motiviert in den Lernprozess startet. Wird bei der Entwicklung einer Lernsoftware etwa von intrinsisch motivierten Lernenden ausgegangen, so ist das Bestimmungsfeld der individuellen Motive dadurch stärker gewichtet. Bei vorausgesetzten und nicht beeinflussbaren Rahmenbedingungen und unter der Annahme einer selbständigen und selbstkontrollierten Lernsituation können die Eigenschaften einer Lernsoftware diesbezüglich etwas in den Hintergrund rücken (siehe Abbildung 5.4).

Auch beim Lernen mit Software soll der Lernprozess als angenehm und interessant erlebt werden (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 211), um „sich selbstvergessen in eine Fragestellung zu vertiefen“ (KERRES (2001), S. 205). Erstrebenswert wäre nach Euler ein „Vollzugsgenuss in der Arbeit am Computer: Das Lernen am Computer wird als genussvoll, spannend oder interessant erlebt, es löst ein Fluss erleben aus, bei dem Zeit und Raum nicht mehr wahrgenommen werden“ (EULER (1992), S. 37). Dazu ist die Lernsoftware mit entsprechenden

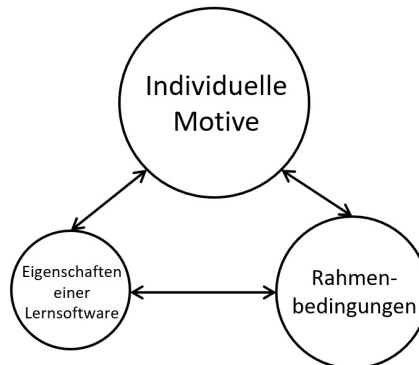


Abbildung 5.4: Bestimmungsfelder der Motivation bei hoher intrinsischer Motivation (in Anlehnung an STRZEBKOWSKI (2001), S. 210)

didaktischen und gestalterischen Mitteln und unter Verwendung interaktiver Komponenten zu entwickeln. Gerade die Interaktivität ist als eine der wesentlichsten Merkmale von Lernsoftware anzusehen, da sie sich nicht nur auf die kognitive, sondern auch auf die motivationale Ebene auswirkt (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 231).

5.2.2 Das ARCS-Modell von Keller

Im Folgenden soll zusammenfassend betrachtet werden, welche didaktischen und gestalterischen Mittel und Methoden (Eigenschaften der Lernsoftware) als Motivierungsstrategien in einer Lernsoftware zur Methodenlehre des OR zum Einsatz kommen können. Diese werden nach dem ARCS-Modell von Keller (KELLER und SUZUKI (1988)), das häufig innerhalb des Instruktionsdesign-Ansatzes insbesondere auch bei der Konzeption von Lernsoftware verwendet wird, in vier Hauptfaktoren, die sich auf die Motivation des Lernenden auswirken, unterschieden (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 211):

- „**A**ttention – die Aufmerksamkeit des Lernenden
- **R**elevance – die Relevanz des Lernstoffs für den Lernenden
- **C**onfidence – die subjektive Erfolgszuversicht des Lernenden
- **S**atisfaction – die Zufriedenheit und Befriedigung des Lernenden“ (STRZEBKOWSKI (2001), S. 211)

Basierend auf der Zusammenstellung von Niegemann (siehe NIEGEMANN (1995), S. 164 ff.) stellt Strzebkowski nach dem Muster von Keller einige didaktische und gestalterische Maßnahmen als Motivierungsstrategien zusammen, die Basis für die folgende Auflistung sind (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 211 ff.), in der für die Entwicklung der didaktischen Grundstruktur in Abschnitt 4.3, S. 143 ff. und für die Ausgestaltung der Lernsoftware in Abschnitt 5.3, S. 176 ff. dieser Arbeit besonders relevante und umgesetzte Elemente aufgeführt werden:

a) Attention (Aufmerksamkeit)

A.1 Aufmerksamkeit wecken und erhalten

- Der Lernende wird von Anfang des Lernprozesses an in ein zu lösendes Problem miteinbezogen. Das formulierte Problem soll dabei eine Herausforderung darstellen, ohne aber zu überfordern.
- Darbietung einer interessanten und informativen Darstellung, die visuell ansprechend und attraktiv ist.

A.2 Neugier bzw. Fragehaltungen anregen

- Durch den Aufbau der Lernumgebung soll der Lernende in seinem informationssuchenden Verhalten stimuliert werden.
- Gleichzeitig sind auch Freiräume zur Entdeckung und Erforschung geschaffen, etwa durch die Möglichkeit des Lernenden eigene Beispielaufgaben mit einzubringen.

A.3 Abwechslung bieten

- Abwechslung ist zum einen geboten durch die verschiedenen Arten der Informationsdarstellung. Der Lernende kann zwischen einem interaktiven, beispielorientierten und einem theoretischen Lernteil wählen. Er kann also nach eigenem Belieben zwischen darstellenden und interaktiven Sequenzen wechseln.
- Zum anderen bietet auch der Ablauf des beschriebenen Algorithmus ein Angebot von kurzen und unterschiedlichen Instruktionseinheiten.
- Eine weitere Abwechslung ist bei den Rückmeldungen geboten. Diese sollen in variierender Form stattfinden.

- Im Ablauf der Lernsoftware sollen sich Lern- und Übungssequenzen abwechseln.
- Darüber hinaus wird eine Fülle an Interaktionsmöglichkeiten angeboten.

b) Relevance (Relevanz, Wichtigkeit der Lerninhalte)

R.1 Vertrautheit schaffen

- Der Lernende wird über Voraussetzungen informiert (siehe Abschnitt 4.3.2.1, S. 145 ff. und insbesondere Abbildung 4.4, S. 147). An die geforderten Vorkenntnisse wird angeknüpft. Der Lernende wird zunächst mit vertrauten Begriffen und Problemstellungen konfrontiert.
- Der Aufbau der Lernumgebung erfolgt in stets gleichen Farben und Formen und nach bekannten Bedienungs- und Steuerungsmustern.

R.2 Lehr-/Lernzielorientierung und den Nutzen des Lernprozesses klären

- Zu Beginn wird der Lernende über Lehrziele und den Aufbau und Ablauf der Lernsoftware informiert (siehe Abschnitt 4.3.2.1, S. 145 ff. und insbesondere Abbildung 4.2, S. 145). Dadurch erfolgt auch ein Einblick in Programmstruktur und -ziel.
- In verschiedenen Sequenzen erhält der Lernende darüber hinaus auch Informationen bezüglich des Nutzens und der Relevanz des zu vermittelnden Algorithmus.

R.3 Anpassung an verschiedene Motivations- und Leistungsprofile bieten

- Durch die Möglichkeit der Eingabe eigener Aufgabenstellungen lässt sich auch der Schwierigkeitsgrad in dieser Hinsicht selbst bestimmen. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit mit unterschiedlichen Schwierigkeitsniveaus zu arbeiten.
- Die Testumgebung kann zu einem durch den Lernenden frei wählbaren Zeitpunkt aufgerufen werden. Auch kann der Lernende bestimmen, wie lange er sich in der Testumgebung aufhält.

c) Confidence (Erfolgszuversicht)

C.1 Lernanforderungen klären

- Der Lernende wird zu Beginn und bei Bedarf jederzeit frei abrufbar, über die Voraussetzungen informiert (siehe Abschnitt 4.3.2.1, S. 145 ff. und insbesondere Abbildung 4.2, S. 145).
- Auch erfolgen Rückmeldungen zu Eingaben des Lernenden in angemessener Form.

C.2 Gelegenheiten für Erfolgserlebnisse bieten

- Der Aufbau der Lernumgebung stellt durch den Einstieg mit einer einfachen, vorgegebenen Aufgabenstellung sicher, dass der Lernende nicht überfordert wird.
- Durch die Möglichkeit der Eingabe eigener Aufgabenstellungen lässt sich auch der Schwierigkeitsgrad in dieser Hinsicht selbst bestimmen. Dadurch ergibt sich auch ein angepasstes und angemessenes Schwierigkeitsniveau.
- Durch die Möglichkeit des Wechsels zwischen interaktivem und theoretischem Lernteil werden darüber hinaus unterschiedliche Einstiegsmöglichkeiten ins Lernprogramm bereitgestellt.

C.3 Selbstkontrolle ermöglichen

- Der Lernprozess kann vom Lernenden jederzeit unter- oder abgebrochen werden.
- Auch hat der Lernende jederzeit Kontrolle über das Lerntempo. Dieses kann er individuell nach seinen Wünschen steuern.
- Der Zugriff auf das Programm ist von Zeit und Ort unabhängig und ist schnell gemessen an den zu erfüllenden technischen Voraussetzungen möglich.
- Der Lernende hat freien Zugriff auf die einzelnen Abschnitte und Einheiten der Lerninhalte. Der Lernweg unterliegt vollständig der Kontrolle des Lernenden.
- Auch besteht in gewisser Weise eine Kontrolle über die Präsentationsform der Informationen durch den Lernenden. Dies ist möglich durch einen flexiblen Wechsel zwischen dem interaktiven, beispielorientierten und dem theoretischen Lernteil.

d) Satisfaction (Zufriedenheit)

S.1 Natürliche Konsequenzen des Lernprozesses aufzeigen

- In der Testumgebung (vgl. Abschnitt 4.3.4.1, S. 152 ff.) werden Aufgaben zur Anwendung der gelernten Fähigkeiten angeboten.
- Dort finden sich auch Transferaufgaben, um das Gelernte flexibel anwenden zu können.

S.2 Positive Folgen aufzeigen

- Es finden Rückmeldungen über den Lernfortschritt statt (vgl. Abschnitt 4.3.4.2, S. 156 ff.).
- Bezüglich des neu angeeigneten Wissens werden Auswirkungen für die Praxis aufgezeigt.
- Im Rahmen der Testumgebung finden korrektive Rückmeldungen bei falschen Antworten statt.

S.3 Spaßgefühl fördern, Angstgefühle oder Abneigung abbauen

- Durch Rückmeldungen, die der Situation entsprechen, werden positiv motivationale Zustände gefördert.
- Darüber hinaus soll durch die Bereitstellung optionaler Hilfen (Glossar (siehe Abschnitt 4.3.3.1, S. 149 f.), kontextsensitive Hilfe (vgl. Abschnitt 4.3.3.2, S. 151 f.), ...) die Misserfolgsangst verringert werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Anzahl möglicher motivierender Instrumente recht hoch ist. Da die Motivation bei Lernprozessen eine genauso wichtige Rolle wie kognitive Aktivitäten spielt (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 214), sollte eine gewisse Auswahl solcher Instrumente bei der Gestaltung einer Lernsoftware mit einfließen und durch interaktive Elemente zur Geltung kommen. Letztendlich ist dabei aber auch zu berücksichtigen, dass die Mensch-Software-Interaktion sich entgegen der Interaktion im sozialen Umfeld dadurch auszeichnet, „daß sie frei von sozialen Konsequenzen ist“ und Handlungen spurlos rückgängig gemacht werden können (vgl. SCHULMEISTER (2000), S. 49). Somit ist es nach Schulmeister „Nicht die Interaktivität an sich, sondern die Anonymität und Sanktionsfreiheit bei der Interaktion mit“ Lernsoftware, die entscheidenden Einfluss auf die Motivation des Lernenden haben (vgl. SCHULMEISTER (2000), S. 49).

5.3 Die Beschreibung der Ausgestaltung der Lernsoftware im Detail

5.3.1 Grundlegende Aspekte zur Gestaltung der Lernsoftware

Wie in Abschnitt 4.3.2.3 auf Seite 149 bereits erwähnt, soll das Lernmaterial in zwei Bereiche, einen theoretischen, d. h. die Lerninhalte präsentierenden, und einen interaktiven Lernteil, der den betrachteten Algorithmus anhand eines Beispiels beschreibt, unterteilt werden. Bereits das Urmodell von Gagné (siehe Abschnitt 4.1.1, S. 123 ff.) schlägt vor, vom Allgemeinen zum Besonderen vorzugehen, also zunächst Lehrinhalte zu präsentieren und diese dann mit Beispielen zu erklären und einzuüben (vgl. KERRES (2001), S. 188). Dadurch können dem Lernenden auch verschiedene Perspektiven desselben Sachverhalts geboten werden, um so auch dessen kognitive Flexibilität zu fördern (vgl. DÖRR und STRITTMATTER (2002), S. 31). Darüber hinaus soll damit auch die Forderung diverser in Abschnitt 4.1.2, S. 127 ff. beschriebener ID-Modelle nach selbstständigem Entdecken, der Anregung der Aktivität des Lernenden und einer multiperspektivischen Sichtweise Rechnung getragen werden. Die Gestaltung der genannten Bereiche soll hier nun auch unter Einbezug von Ausführungen und Erkenntnissen der vorangegangenen Abschnitte 5.1, S. 160 ff. und 5.2, S. 168 ff. im Detail erfolgen.

Bei der Organisation des Lernweges soll darauf geachtet werden, dem Lernenden freien Zugriff auf alle Inhalte zu gewähren. Er soll seinen Lernweg selbst bestimmen und an seine Erfordernisse anpassen können (siehe Abschnitt 5.1.2, S. 165 ff.). Dies erfolgt auch in Anlehnung an einen von Euler genannten und in Abschnitt 4.1.2, S. 127 ff. beschriebenen Gestaltungsansatz einer Lernsoftware. Gemeint ist hier das Prinzip der Lernersteuerung, wonach der Lernende einzelne Bearbeitungsschritte und deren Reihenfolge selbst festlegen können soll, um ihm so eine auf seine Bedürfnisse abgestimmte Bearbeitung der Inhalte zu ermöglichen. Dieser Ansatz ist etwa auch im Anchored Instruction (siehe Abschnitt 4.1.2.1, S. 131 ff.) zu finden und zielt darauf ab, dass in einer explorativen Weise Probleme erkannt und gelöst werden.

Mit Blick auf die Lernsituation wird damit ein erhöhtes Maß an intrinsischer Motivation des Lernenden vorausgesetzt. Dadurch können die Eigenschaften der Lernsoftware in Bezug auf motivierende Elemente etwas in den Hintergrund rücken (vgl. hierzu Abschnitt 5.2.1, S. 168 ff. und insbesondere Abbildung 5.4, S. 171). Bei der Ausgestaltung der Motivierungskomponente (vgl. Abschnitt 5.1.1, S. 160 ff.) wird hier exemplarisch auf das ARCS-Modell von Keller zurückgegriffen (siehe Abschnitt 5.2.2, S. 171 ff.).

Zur Gestaltung der Benutzeroberfläche sollen nur einige wenige, auch für hypermediale Lernumgebungen besonders relevante Anforderungen aufgeführt werden (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 188):

- Es ist darauf zu achten, dass das System leicht *erlernbar* ist. Dadurch soll sichergestellt werden, dass der Lernende möglichst rasch arbeitsfähig ist und mit dem angestrebten Lernprozess beginnen kann.
- Die Oberfläche sollte sich durch eine effiziente Bedienbarkeit auszeichnen, durch die ein hohes Maß an *Produktivität* ermöglicht wird.
- Die Oberfläche sollte so gestaltet sein, dass der Lernende sich auch bei nur gelegentlicher Nutzung an die Bedienung *erinnern* kann und dadurch rasch arbeitsfähig ist.

Dazu wird insbesondere auch auf technologische Aussagen des Instruktionsdesigns, die der effektiven Gestaltung von Lernumgebungen dienen sollen, zurückgegriffen (vgl. NIEGEMANN et al. (2008), S. 17). Diverse Punkte beziehen sich auf eine anschauliche Darstellung der Informationen und sind deshalb der Präsentationskomponente der Lernsoftware zuzuordnen (vgl. Abschnitt 5.1.1, S. 160 ff.). Insgesamt soll die Einfachheit der Oberfläche durch ein übersichtliches, natürliches und ästhetisches Aussehen gewährleistet werden (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 236).

Der klassische Bildschirmaufbau (siehe Abbildung 5.5) wird hier exemplarisch aufgezeigt und setzt sich dabei und im weiteren Ablauf aus den folgenden drei funktionalen Bereichen zusammen:

1. Positionsbereich: Hier wird über die aktuelle Position im Lernprogramm informiert.

2. Lern- und Arbeitsbereich: In diesem werden die Inhalte vorgestellt und finden Eingriffe in den Verfahrensablauf statt.
3. Steuerungsbereich: Hier sind die jeweils verfügbaren Navigationsfunktionen zu finden.

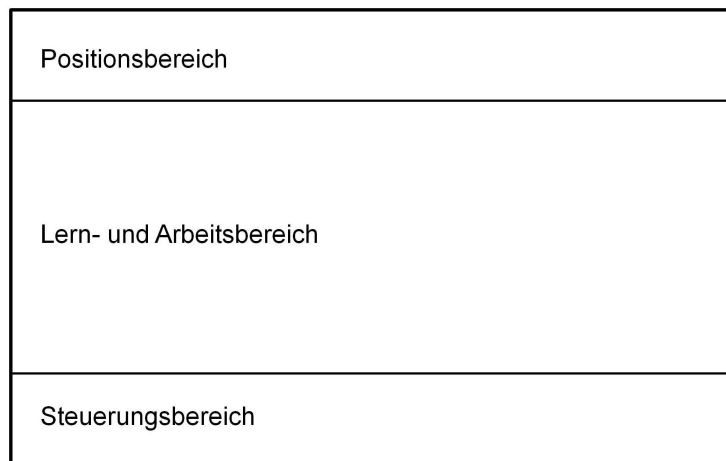


Abbildung 5.5: Standardlayout für Lernsoftware (in Anlehnung an STRZEBKOWSKI (1997), S. 286)

Das Layout sollte bewusst schlicht und einfach gehalten werden, um das Augenmerk auf den Inhalt und die wesentlichen Interaktions- und Steuerungsfunktionen zu lenken. Dazu sind auch Farben so zu wählen, dass sie nicht von den Inhalten ablenken (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEBERG (2002), S. 236). Die Funktionalität soll nachvollziehbar und intuitiv sein, gleichzeitig aber auch ästhetischen und ergonomischen Ansprüchen genügen, da diese auch unmittelbar Einfluss auf Motivation und Effizienz im Umgang mit der Lernumgebung hat (vgl. Abschnitt 5.2, S. 168 ff.). Die Anordnung der Elemente erfolgt in waagerechter Linie, um diese an den natürlichen Blickwinkel des Menschen und auch der beim Lesen üblichen waagerechten Augen- und Kopfbewegung anzupassen (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 177). Damit soll sichergestellt werden, dass sich die Gestaltung der Softwareoberfläche an den natürlichen Seh- und Lesegewohnheiten der Nutzer orientiert (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEBERG (2002), S. 236).

Dabei ist es auch sinnvoll, die einzelnen Bereiche in ihrer Größe nicht absolut, sondern relativ zu definieren, so dass sich diese an der eingestellten Bildschirmauflösung orientieren können. Darüber hinaus soll der Bildschirmaufbau über

die einzelnen Verfahrensschritte erhalten bleiben, so dass sich der Lernende nicht immer wieder in einer sich ständig ändernden Umgebung zurechtfinden muss. Dies dient auch dem Aufbau von Vertrautheit (siehe Abschnitt 5.2.2, S. 171 ff.). Natürlich kann dem Lernenden auch die Möglichkeit eingeräumt werden, bestimmte Parameter, die die Anordnung von Elementen und die Navigation betreffen, nach den eigenen Bedürfnissen und Wünschen festlegen zu können.

5.3.2 Gestaltungselemente einer hypermedialen Lernumgebung zur Vermittlung der Theorie des IP-Verfahrens

In der hypermedialen Lernumgebung zur Vermittlung der Theorie des Inneren-Punkt-Verfahrens ist die Vorgehensweise der Methode zunächst in der Form aufgeführt und beschrieben, die man üblicherweise aus Lehrbüchern kennt. Der Inhalt ist hier in zwei Abschnitte unterteilt. Abschnitt eins führt in Innere-Punkt-Verfahren zur Lösung linearer Programme ein. Abschnitt zwei beschreibt das Verfahren von Dikin.

Die Inhalte werden hier durch eine Kombination aus linear aufgebauter Bestandteile und hypertextuell und hypermedial aufgebauter Strukturen abgebildet. Hypermediasysteme (siehe auch Abschnitt 3.4.1, S. 98 ff.) zeichnen sich durch ihre vernetzte Struktur von Informationseinheiten aus. „Sie ermöglichen einen flexiblen, selbstgesteuerten Zugriff auf diese Informationen“ (TERGAN (2002), S. 99). Gerade darin sehen zahlreiche ID-Modelle, insbesondere auch die in Abschnitt 4.1.2, S. 127 ff. dieser Arbeit beschriebenen, einen zentralen Ansatzpunkt.

Der Lernende kann sich mit den Inhalten in Form selbstgesteuerten Lernens auseinandersetzen. Dies erfordert natürlich auch ein hohes Maß an intrinsischer Motivation (siehe Abschnitt 5.2.1, S. 168 ff.), ermöglicht aber auch individuelle Lernverläufe (siehe hierzu Abschnitt 5.1.2, S. 165 ff.). Neben dem Lernweg hat der Lernende jederzeit Kontrolle über das Lerntempo. Das kann sich durchaus positiv auf die Erfolgszuversicht auswirken (siehe Abschnitt 5.2.2, S. 171 ff.). Zudem sollen Struktur und Aufbau den Lernenden in seinem informationssuchenden Verhalten stimulieren und damit seine Neugier anregen (siehe Abschnitt 5.2.2, S. 171 ff.).

Die Aufteilung des Lern- und Arbeitsbereichs wird wie in Abbildung 5.6 dargestellt vorgenommen:

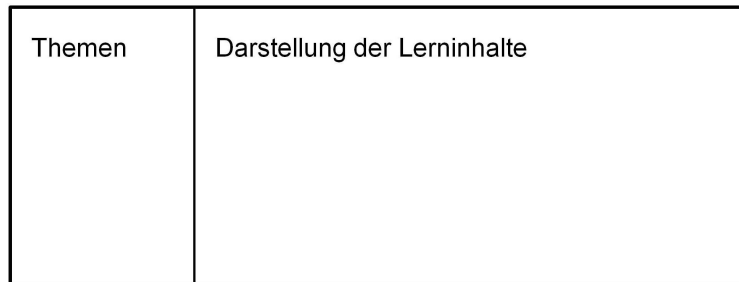


Abbildung 5.6: Systematische Aufteilung des Lern- und Arbeitsbereichs im Theorieteil

Auf der linken Seite findet sich der Zugriff auf die zu betrachtenden Inhalte in Form eines Verzeichnisses. Die aufgeführten Themenpunkte können durch „Klicken“ ausgewählt werden. Die dazu entsprechenden Lerninhalte werden dann auf der rechten Seite angezeigt. Dies kann auch der in Abbildung 5.7 dargestellten exemplarischen Umsetzung entnommen werden.

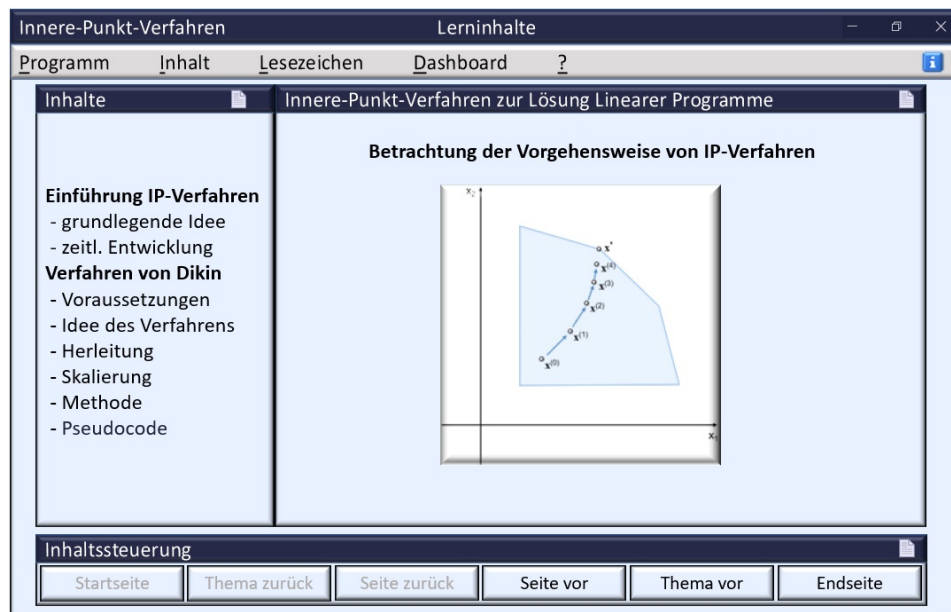


Abbildung 5.7: Start des hypermedialen Theorieteils

Die Inhalte sind dabei, wie bereits angesprochen, inhaltlich in zwei Abschnitte unterteilt. Die Abschnitte sind entsprechend gegliedert, so dass der Lernende

bereits eine Struktur vorfindet. Dadurch soll auch dem Aufkommen von Desorientierung und Überforderung entgegengewirkt werden (vgl. KERRES (2018), S. 357). Die Struktur folgt einem logischen Aufbau auch im Sinne einer empfohlenen Reihenfolge der Inhalte im Lernprozess. Dies geschieht auch in Anlehnung an die Auffassung eines bis zu einem bestimmten Punkt steuer- und planbaren Prozesses des Lernens (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 153).

Der Lernende kann nun frei nach seinen Vorkenntnissen, Erfahrungen und Vorlieben auf die Inhalte zugreifen. Alternativ kann er der Struktur folgend, die Inhalte Seite für Seite durcharbeiten oder auch von Abschnitt zu Abschnitt springen (siehe Inhaltssteuerung in den Abbildungen 5.7–5.15 zu den Lerninhalten). D. h. dem inhaltlichen Aufbau folgend ist hier ein Lernpfad vorgegeben, der auch der Orientierung des Lernenden dienen soll (vgl. hierzu Abschnitt 5.1.1, S. 160 ff.). Der Lernende kann diesem Pfad folgen und somit diese Hilfe zur Orientierung annehmen, muss dies aber nicht. Er kann also frei durch die Inhalte „Surfen“ oder diese strukturiert durchlaufen (vgl. SUHL (2000), S. 95). Dieser Aufbau soll auch dazu dienen, die Integration neuen Wissens in individuell vorhandene geistige Strukturen zu erleichtern (vgl. ISSING und KLIMSA (2002), S. 2).

Der Verzicht auf festgeschriebene didaktische Interaktionen kann zu einer größeren Flexibilität und vielseitigeren Anwendbarkeit der Software führen (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 149). Diesem Ansatz folgend, wird auch hier weitestgehend auf die Festschreibung didaktischer Interaktionen verzichtet. Auch kommt dies „stark dem Hypermedia-Gedanken, bei dem dem Lernenden eine offene Problemsituation und kognitive Werkzeuge zur Lösung dieser Situation zur Verfügung gestellt werden“ (STRZEBKOWSKI (2001), S. 189), nahe.

Problemstellungen des Operations Research zeichnen sich gerade auch durch deren Interdisziplinarität aus (siehe etwa Abschnitt 2.1, S. 7 ff.). Gemäß des Anchored Instruction-Ansatzes (siehe Abschnitt 4.1.2.1, S. 131 ff.) sollen gerade komplexe, oft interdisziplinär konstruierte Probleme zur Aktivität anregen und dann auch gelöst werden. Der Lernende soll zu einer ausführlichen Beschäftigung mit der Problemstellung veranlasst werden, um damit auch die Anwendbarkeit von Wissen zu verbessern (vgl. MANDL et al. (2002), S. 144).

Letztendlich sollen damit zwei positive Wirkungen erreicht werden. Diese sind einerseits in der Motivation des Lernenden und andererseits in der Selbststeuerung des Lernprozesses, zu sehen (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 58 f.). Dabei ist nicht auszuschließen, dass sich diese beiden Aspekte auch gegenseitig beeinflussen und zwar derart, dass eine größere Motivation zu einer höheren Bereitschaft der Selbststeuerung des Lernprozesses führt und etwa eine gegebene Möglichkeit zur Selbststeuerung eben auch die Motivation anregt (vgl. Abschnitt 5.2.1, S. 168 ff.).

In der aufbereiteten Darstellung der Inhalte bietet es sich an mit verschiedenen Formen von Verknüpfungen (Links) zu arbeiten. Links sind ein zentrales Element hypermedialer Lernumgebungen. Sie tragen wesentlich zu deren interaktiven Gestaltung bei, ermöglichen nichtlineare Strukturen und dadurch explorative sowie individuelle Lernwege (siehe Abschnitt 5.1.2, S. 165 ff.). So werden Links einerseits verwendet, um zu entsprechend ausgewählten Stellen des Inhalts zu springen. Andererseits führen Links zu grafischen Veranschaulichungen oder aber zu Einträgen des Glossars (siehe Abbildung 4.6 auf Seite 150). Sie stellen hier auch ein zentrales Element der Ablaufsteuerung dar (vgl. Abschnitt 5.1.1, S. 160 ff.).

Dem Lernenden sollte darüber hinaus die Möglichkeit gegeben werden, ihm subjektiv wichtige Bereichen kennzeichnen und diese nach eigenen Bedürfnissen ordnen zu können (vgl. HAACK (2002), S. 131). Dies lässt sich entsprechend über Lesezeichen-Funktionen realisieren (vgl. hierzu Abschnitt 5.1.1, S. 160 ff. und siehe Abbildungen 5.7–5.15, 5.17, 5.18 und 5.21–5.29). Die Gestaltung des Lernangebots sollte darauf abzielen, die Auseinandersetzung des Lernenden mit dem Lerngegenstand zu optimieren (vgl. WEIDENMANN (2002b), S. 62).

Die Abbildungen 5.8 bis 5.15 geben die Reihenfolge des inhaltlichen Aufbaus in Form eines möglichen und bereits angesprochenen Lernpfades wieder. Generell ist der Lernende jedoch frei, wann und in welcher Reihenfolge er welche Information abrufen und letztendlich auch dabei, wann er welche Unterstützung in Anspruch nimmt (vgl. Abschnitt 5.1.2, S. 165 ff.).

Durch die Themenpunkte „grundlegende Idee Innerer-Punkt-Verfahren“ (Abbildung 5.8), „Zeitliche Entwicklung Innerer-Punkt-Verfahren“ (Abbildung 5.9), „Voraussetzungen des Verfahrens von Dikin“ (Abbildung 5.10) und „Idee des Verfahrens von Dikin“ (Abbildung 5.11) findet eine Annäherung an das Thema statt.

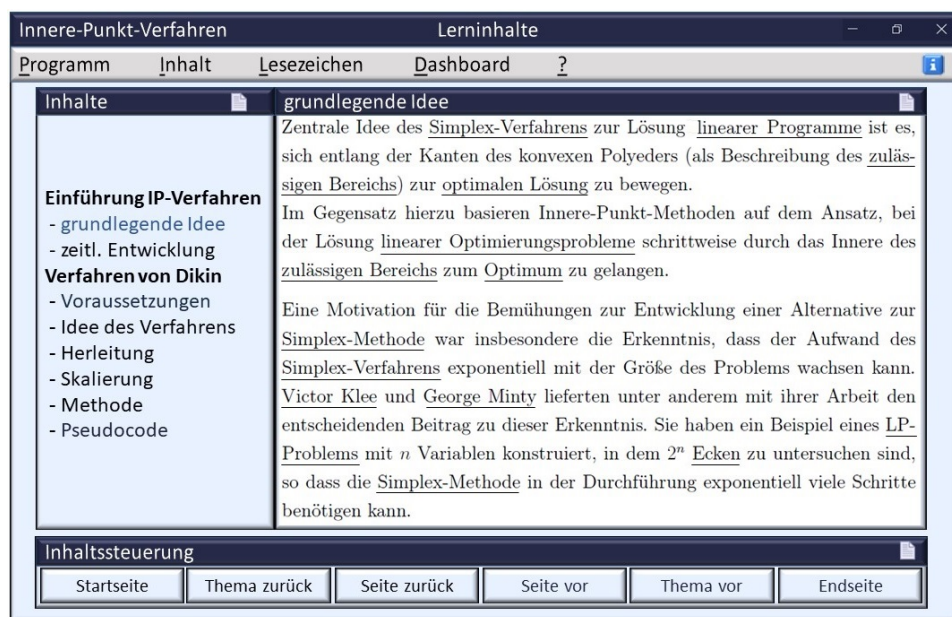


Abbildung 5.8: Grundlegende Idee Innerer-Punkt-Verfahren

Dabei wird einer grundlegenden Empfehlung des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes (vgl. Abschnitt 4.1.2.2, S. 133 ff.) gefolgt, wonach eine Problemstellung zunächst aus einer übergeordneten Perspektive zu beschreiben und untergeordnete Aspekte erst später zu betrachten sind, so dass eine Beurteilung des Zusammenspiels bestimmter Komponenten mit Blick auf das Gesamtziel möglich wird (vgl. DE WITT und CZERWIONKA (2013), S. 60).

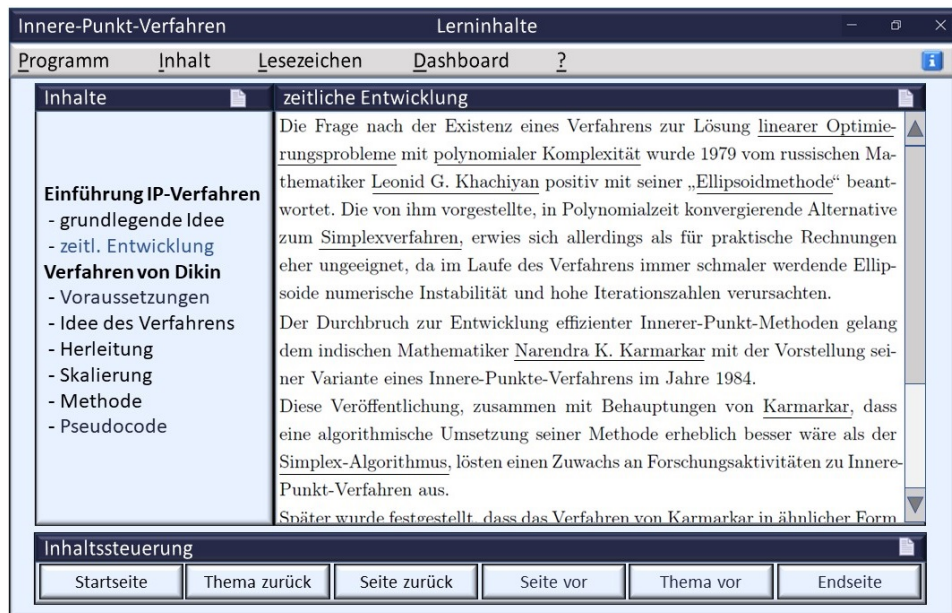


Abbildung 5.9: Zeitliche Entwicklung Innerer-Punkt-Verfahren

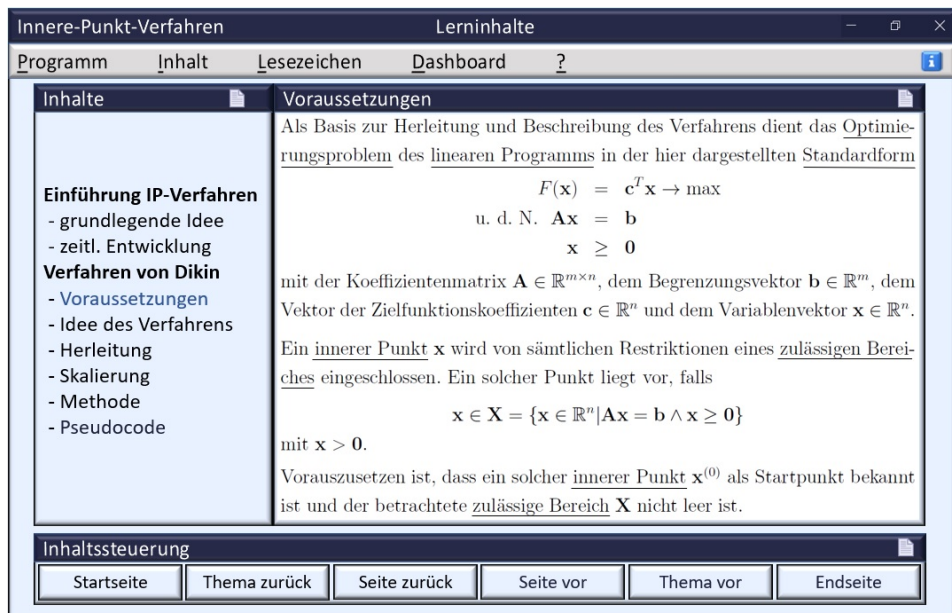


Abbildung 5.10: Voraussetzungen des Verfahrens von Dikin

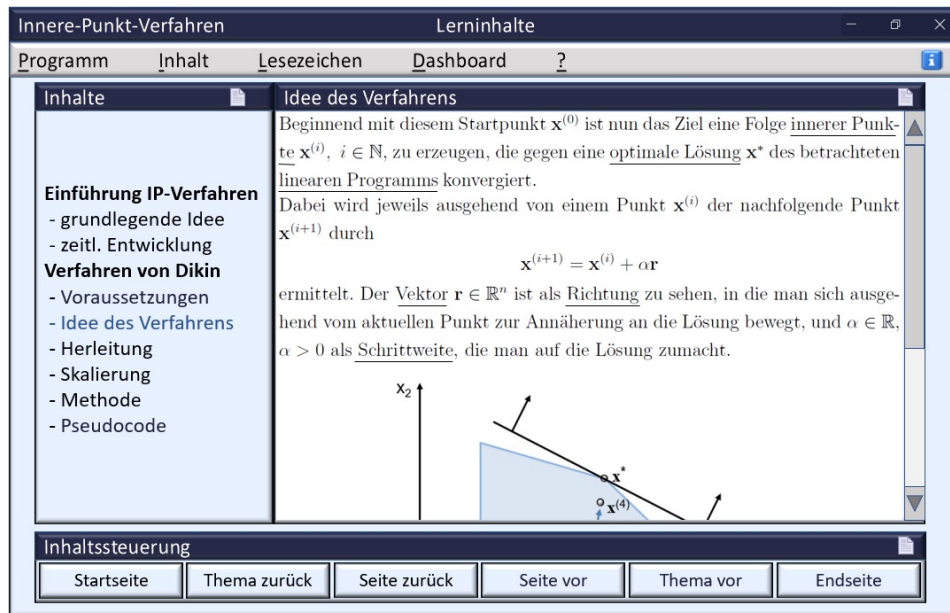


Abbildung 5.11: Idee des Verfahrens von Dikin

Die Unterpunkte „Herleitung des Verfahrens von Dikin“ (Abbildung 5.12), „Notwendige Skalierung im Verfahren von Dikin“ (Abbildung 5.13) und „Beschreibung der Methode von Dikin“ (Abbildung 5.14) dienen einer angemessenen methodischen Aufbereitung des Lehrstoffs, die den angedachten Lernprozess erleichtern soll (vgl. DÖRR und STRITTMATTER (2002), S. 31).

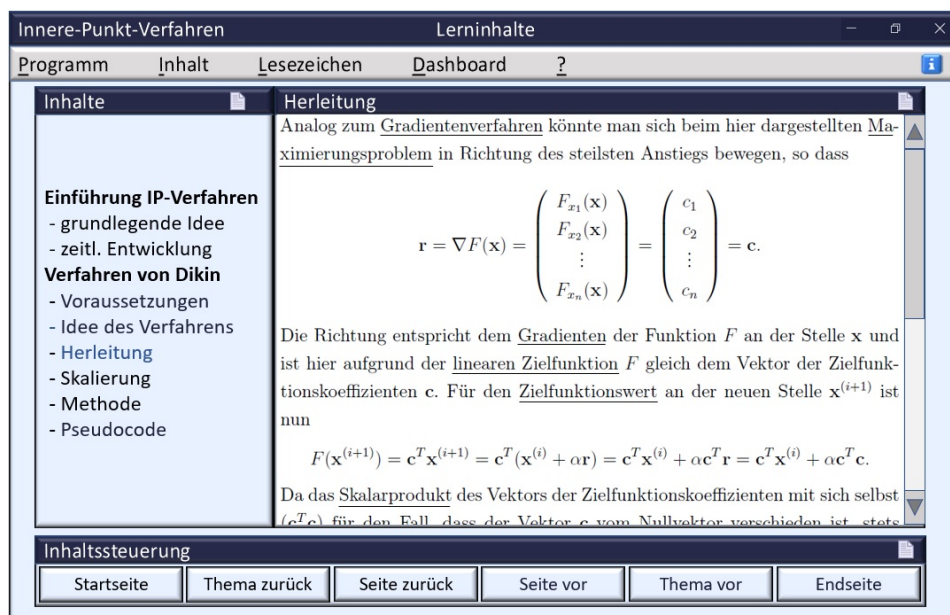


Abbildung 5.12: Herleitung des Verfahrens von Dikin

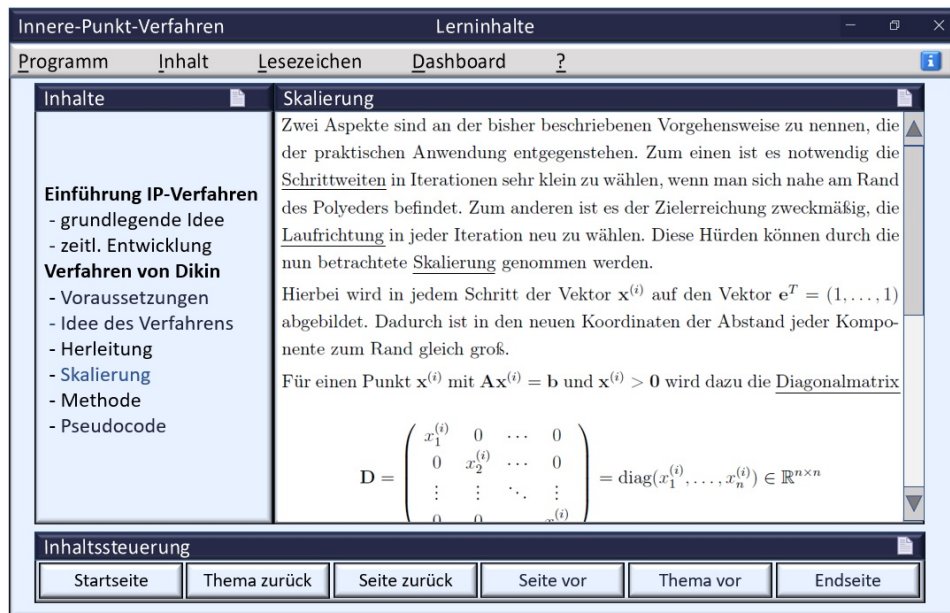


Abbildung 5.13: Notwendige Skalierung im Verfahren von Dikin

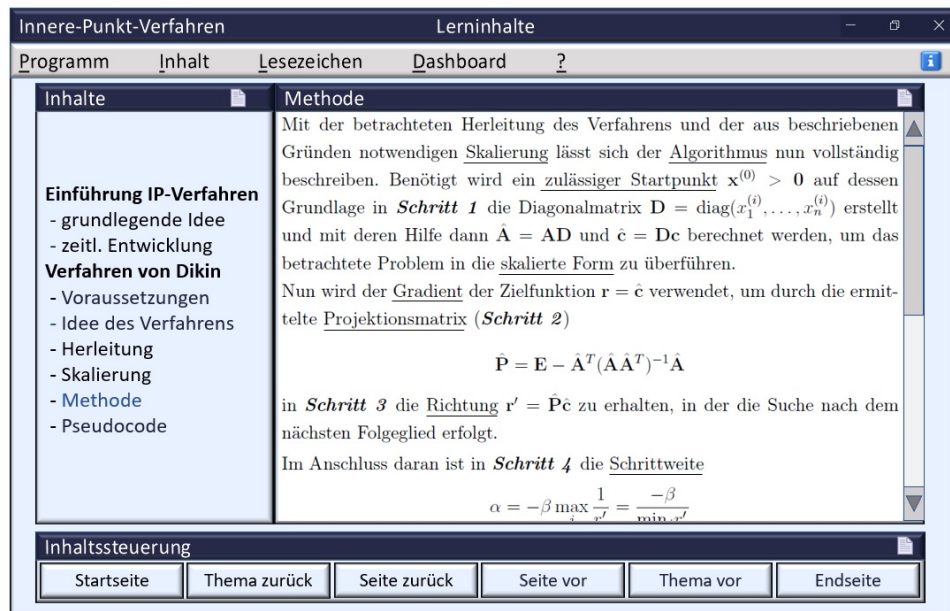


Abbildung 5.14: Beschreibung der Methode von Dikin

Auch hier lassen sich durch Anwählen des „full-text-buttons“ oder durch das Anklicken einzelner Verfahrensschritte ausführlichere Darstellungen mit zusätzlichen Zwischenschritten einblenden.

Die Darstellung der Methode als Pseudocode (Abbildung 5.15) stellt eine andere Form der Codierung und eine in der Methodenlehre gebräuchliche Darstellung von Verfahren dar. Dadurch ist mitunter auch die Möglichkeit gegeben, die kognitive Flexibilität des Lernenden zu fördern, da ihm etwa wie in der Cognitive Flexibility-Theorie (siehe Abschnitt 4.1.2.3, S. 136 ff.) gefordert, verschiedene Blickwinkel auf denselben Sachverhalt ermöglicht werden.

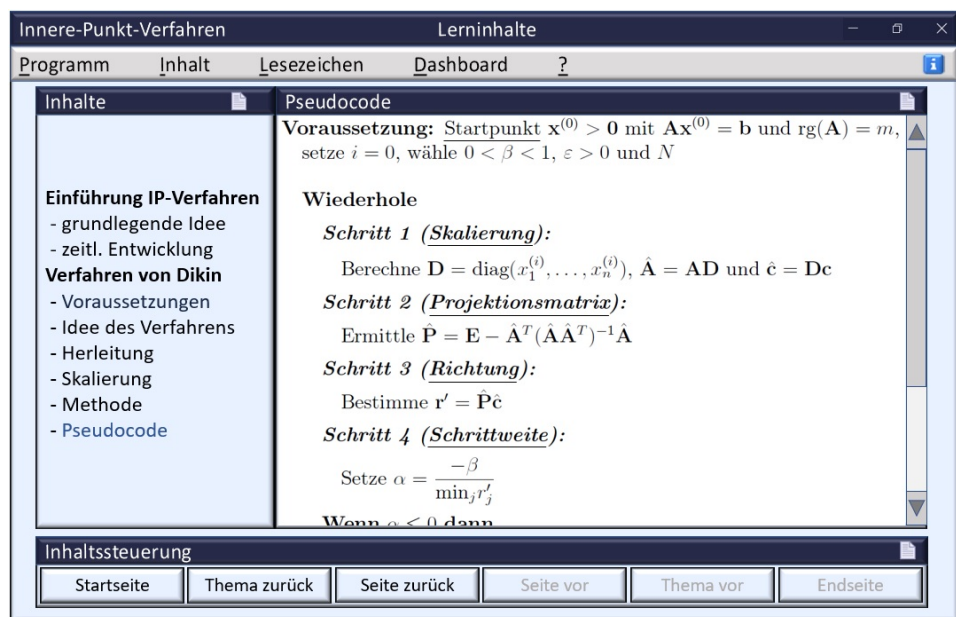


Abbildung 5.15: Darstellung der Methode von Dikin als Pseudocode

Hypermedia bieten hier ein großes Potential, insbesondere auch die Möglichkeit, Informations- und Lernprozesse auf aktives, problemorientiertes Lernen zu erneuern (vgl. ISSING und KLIMSA (2002), S. 1), jedoch letztendlich „keine Garantie für die Gestaltung motivierender Lernumgebungen“ (BLUMSTENGEL (1998), S 185). Darüber hinaus ist der Zugriff auf Hypermedia zwar sehr flexibel, allerdings ist es auch schwieriger sich zu orientieren. Dieses schon angesprochene Problem des „lost in hyperspace“ ist insbesondere dann konzeptueller Natur, wenn es dem Lernenden nicht möglich ist, die Bedeutung der betrachteten Informationen in die eigene Wissensstruktur einzubauen (BLUMSTENGEL (1998), S 186).

Dies tritt etwa auf, wenn der Zusammenhang in der Darstellung nicht erkannt und zudem nicht nachvollzogen werden kann, in welcher Beziehung die aktuel-

len Inhalte zu den bereits verarbeiteten Informationen stehen (BLUMSTENGEL (1998), S 186). Die Kontrolle über den Lernprozess kann dabei zunächst abhandkommen, allerdings steht dies auch mit der Annahme des Konstruktivismus in Einklang, wonach jeder Lernende seinen eigenen Lernweg gehen muss, um sein eigenes Wissen konstruieren zu können (vgl. Abschnitt 3.1.3, S. 81 ff.).

Letztendlich kann Desorientierung in hypermedialen und problemorientierten Lernumgebungen nicht vollständig vermieden werden. Da jede Form der Exploration auch stets mit einem Mangel an Startinformationen verbunden ist, sollten, wie dargestellt, verschiedene Optionen und Zugriffsmodi verfügbar gemacht werden (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 186). Auch durch die hier aufgezeigte Form eines vorgefertigten Lernpfades sowie durch die Verwendung von Lesezeichen und eines Glossars kann der Desorientierung entgegengewirkt werden (siehe Abschnitt 5.1.1, S. 160 ff.).

5.3.3 Gestaltungselemente einer interaktiven, beispielorientierten Lernumgebung für das IP-Verfahren

Im interaktiven, beispielorientierten Lernteil soll der Lernende in die Lage versetzt werden, das Innere-Punkt-Verfahren von Dikin basierend auf der gewählten Aufgabenstellung (vorgegeben oder selbst eingegeben) Schritt für Schritt nicht nur durchlaufen zu lassen und deren Auswirkungen auch anhand entsprechender Zwischenergebnisse erfahren und betrachten zu können, sondern dabei auch eine aktive, partizipative Position einzunehmen. Für eine solche Position spielt die Interaktivität (siehe Abschnitt 5.1.1, S. 160 ff.) eine entscheidende Rolle.

Der Lernweg ist durch die logische Reihenfolge der einzelnen Schritte des betrachteten Algorithmus gewissermaßen vorgegeben. Allerdings kann der Lernende in jedem Punkt wählen, ob er den nächsten Schritt nach vorne oder wieder zurück betrachtet, und kann dabei, jeweils seinen Vorstellungen entsprechend, den Detaillierungsgrad wählen. Der Lernende soll so die Möglichkeit haben, die Algorithmenschritte nach seinen eigenen Bedürfnissen und Interessen abarbeiten zu können. Dadurch können die neu auftretenden Informationen durch individuelle Eigentätigkeit in die bestehenden Wissens- und Denkstrukturen eingegliedert werden. Letztendlich sollen auch hier die Selbststeuerung

des Lernprozesses und ein Problemerkennen und -lösen, das auf explorative Art und Weise möglich ist, mit im Vordergrund stehen. Nichtsdestotrotz sind auch unterstützende, anregende und erklärende Elemente vorgesehen. Die Balance zwischen Konstruktion und Instruktion soll jedoch gehalten werden (siehe Abbildung 3.7, S. 93).

Innerhalb der Lernumgebung sollte „jede bedeutende Aktion durch eine visuelle und/oder akustische Rückmeldung behandelt werden“ – zu nennen wären etwa Fehlbedienungen und „Meldungen zur Reflexion des Wissenserwerbs“ (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGER (2002), S. 237).

Im beispielorientierten Lernteil wird die in Abbildung 5.16 vereinfacht dargestellte Aufteilung des Lern- und Arbeitsbereichs vorgeschlagen.

Ausgangssituation	Grafische Darstellung
Formale Algorithmenschritte	Verbale Algorithmenschritte

Abbildung 5.16: Systematische Aufteilung des Lern- und Arbeitsbereichs im interaktiven, beispielorientierten Lernteil

Im Feld „Ausgangssituation“ wird die gewählte Beispielaufgabe in Matrixnotation dargestellt. Rechts daneben findet sich im Feld „Grafische Darstellung“ bei entsprechender Aufgabenstellung (zwei Variablen) ein 2D-Graph, der neben der aktuellen Lage im Lösungsraum auch die bisher durchlaufenen Iteratio-

nen anzeigt. Diese grafische Darstellung soll zusätzlich die Funktionsweise des Verfahrens darstellen und erläutern und somit den Verständnisprozess unterstützen. Das kann auch damit untermauert werden, dass die gedächtnismäßige Überlegenheit grafischer Informationen gegenüber ausschließlich verbaler Informationen als relativ gesichert gesehen werden kann (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 182). Auf diese Unterstützung muss bei gewählten Problemen mit drei oder mehr Variablen nicht zwingend verzichtet werden. Nach Möglichkeit lässt sich auch in solchen Fällen der Lernprozess in abstrahierter Form durch grafische Veranschaulichungen und/oder Modellformulierungen begleiten.

Die Beschreibung der Vorgehensweise des Inneren-Punkt-Verfahrens ist in zwei Felder unterteilt. Im Feld „Formale Algorithmenschritte“ werden die Zwischenergebnisse in Form von Matrizen und Vektoren dargestellt. Dies eröffnet die Möglichkeit, das gegebene Problem (bei entsprechender Größe) Schritt für Schritt auch händisch lösen zu können, um bereits erlerntes Methodenwissen überprüfen zu können. Im Feld „Verbale Algorithmenschritte“ werden die einzelnen vorzunehmenden Verfahrensschritte, die zu den gerade genannten Zwischenergebnissen führen, in Worten beschrieben. Der Lernende wird hier durch Interaktion und Kooperation mit dem Programm (siehe Abschnitt 5.1.1, S. 160 ff.) durch den Algorithmus geführt, so dass die Motivation hier in gewissen Teilen auch extrinsisch erfolgt (siehe hierzu auch Abschnitt 5.2.1, S. 168 ff.).

Der interaktive, beispielorientierte Teil kann mit dem in Abbildung 4.5 auf S. 148 vorgegebenen Ausgangsbeispiel begonnen werden. Dieses ist in die angesprochene systematische Aufteilung überführt worden (siehe Abbildung 5.17). Die Problemgröße und -beschaffenheit sind hierfür so gewählt, dass eine adäquate Darstellung der Algorithmenschritte möglich und eine grafische Visualisierung der Vorgehensweise realisierbar ist. Durch den Einstieg mit einer angemessenen, vorgegebenen Aufgabenstellung wird zudem sichergestellt, dass der Lernende nicht überfordert und seine Erfolgszuversicht gestärkt wird (vgl. Abschnitt 5.2.2, S. 171 ff.).

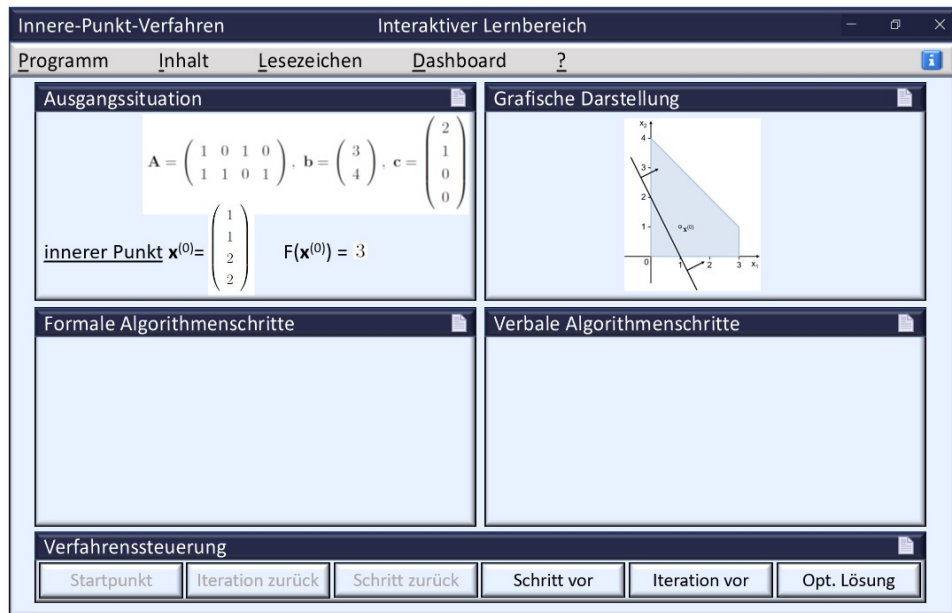


Abbildung 5.17: Verfahrensstart

Alternativ kann der Lernende das Verfahren auch mit einer eigenen Beispielaufgabe beginnen (vgl. Abschnitt 5.1.2, S. 165 ff.). Dazu sind alle relevanten Bedingungen zu nennen und eine intuitive Eingabe der Aufgabenstellung möglich zu machen (siehe Abbildung 5.18).

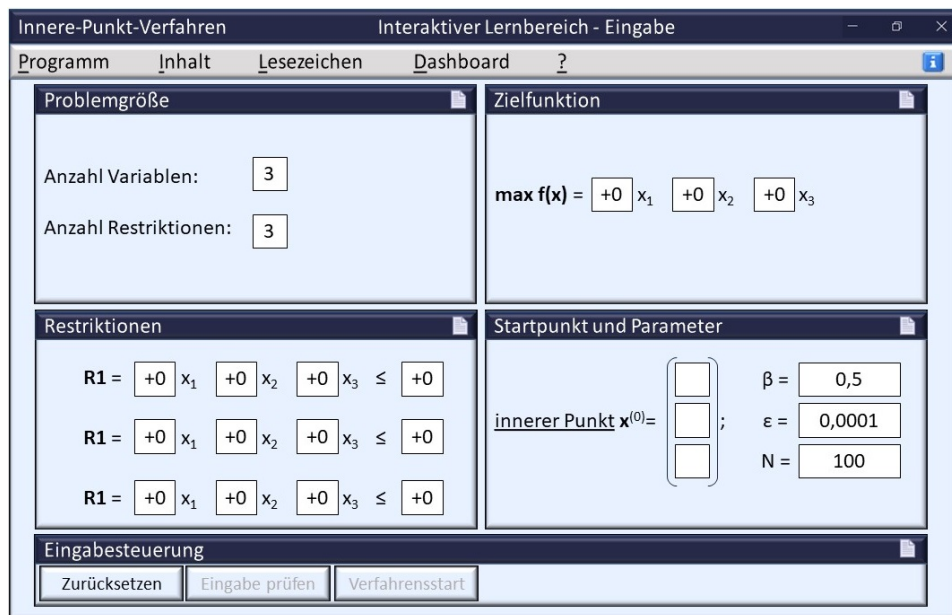


Abbildung 5.18: Eingabe einer eigenen Beispielaufgabe

Durch die Möglichkeit der Eingabe einer eigenen Aufgabenstellungen lässt sich auch der Schwierigkeitsgrad durch den Lernenden selbst bestimmen. Dies bietet zudem weitere Gelegenheiten für Erfolgserlebnisse (vgl. Abschnitt 5.2.2, S. 171 ff.). Die Eingabe startet in diesem Beispiel mit der Festlegung der Problemgröße. Hierzu sind die Anzahl der Variablen und die Anzahl der Restriktionen festzulegen. In Abhängigkeit davon werden entsprechende Felder für die Eingabe der Zielfunktion, der Restriktionen und des Startpunktes erzeugt. Die Eingabe sollte einfach korrigiert werden können (beispielsweise durch die Möglichkeiten des Zurücksetzens – hier in Form eines Buttons im Bereich der Eingabesteuerung). Die Felder für die Werte der Parameter des Verfahrens sind angemessen vorausgefüllt, können vom Lernenden jedoch geändert werden. Hier kann der Lernende beispielsweise durch Auswahl des „Daten-Icons“ rechts oben im Feld „Startpunkt und Parameter“ mit kurzen Informationen zu den einzugebenden Größen unterstützt werden (vgl. Abschnitt 5.1.1, S. 160 ff. und siehe Abbildung 5.19).

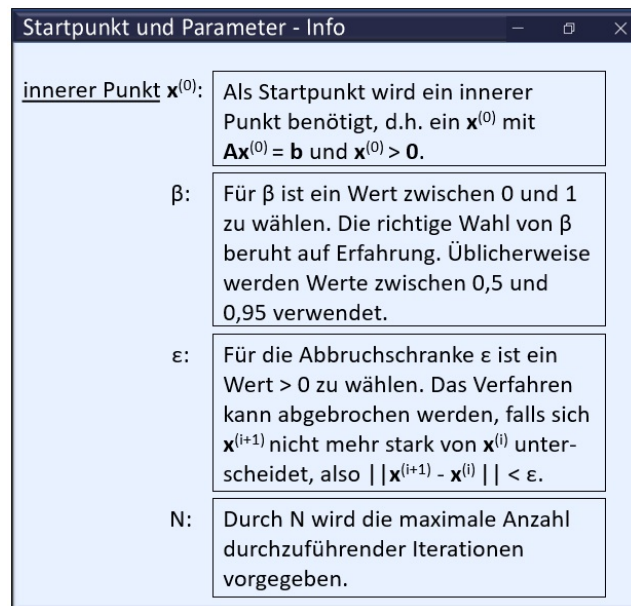


Abbildung 5.19: Informationen zu den einzugebenden Größen

Nach erfolgter Eingabe ist diese auf vorgegebene Bedingungen und Anwendungsvoraussetzungen von der Software mit angepasstem Feedback zu prüfen (siehe Abschnitt 5.1.1, S. 160 ff.). So kann dem Lernenden etwa bei der falschen Festlegung eines Parameterwertes die Möglichkeit gegeben werden,

noch einmal darüber nachzudenken und den korrekten Wert sowie auch weitere Informationen dazu in Erfahrung zu bringen (vgl. hierzu Abschnitt 4.3.3.2, S. 151 f. und siehe Abbildung 5.20). Diese erweiterte Interaktionsform ist dem Bereich der didaktischen Interaktionen zuzuordnen (siehe Abschnitt 5.1.1, S. 160 ff.). Die Rückmeldungen der Software sollen durchaus in variierender Form stattfinden, um durch diese Abwechslung auch die Aufmerksamkeit zu stärken (siehe Abschnitt 5.2.2, S. 171 ff.).

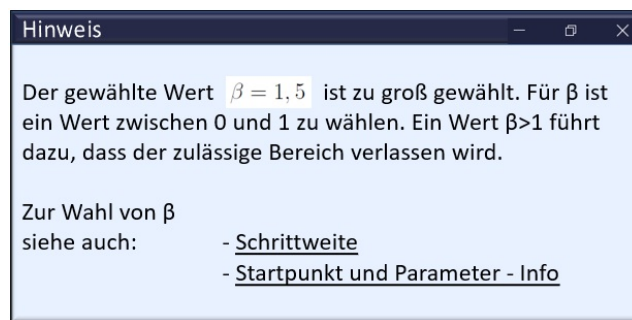


Abbildung 5.20: Hinweis zu falsch gewähltem Parameter

Der Start des Verfahrens wird dann nach Abschluss einer Überprüfung freigegeben.

Unter Verwendung des in Abschnitt 2.4.2, S. 59 ff. betrachteten und in Abbildung 4.5 auf Seite 148 gegebenen Beispiels lässt sich der Bildschirm dann, wie bereits erwähnt, gemäß Abbildung 5.17 darstellen. Im Feld „Ausgangssituation“ ist die betrachtete Aufgabenstellung in kompakter Form dargestellt. Die Art und Weise der Darstellung kann dem Lernenden überlassen werden. So ist hier durch Auswahl des Icons rechts oben im Feld „Ausgangssituation“ eine Anpassung vorgesehen. Die Ausgangssituation ist daneben noch einmal grafisch dargestellt. Über das „Daten-Icon“ ist eine Vergrößerung oder aber auch ein Abspeichern der Abbildung denkbar.

Dem Lernenden soll es nun möglich sein, das Verfahren Schritt für Schritt kennenzulernen und nachzuvollziehen. Hierzu ist im Steuerungsbereich die Auswahl der Möglichkeiten zur Verfahrenssteuerung aufgeführt. Es handelt sich hier um klassische Steuerungsinteraktionen und damit um wesentliche Komponenten der Ablaufsteuerung (vgl. Abschnitt 5.1.1, S. 160 ff.). Der Detaillierungsgrad soll dem Lernenden überlassen werden. Dadurch soll mitunter

auch das selbständige Entdecken und die Selbststeuerung des Lernprozesses gefördert werden. „Schritt vor“ führt **Schritt 1** der ersten Iteration aus. Die Auswirkungen können Abbildung 5.21 entnommen werden.

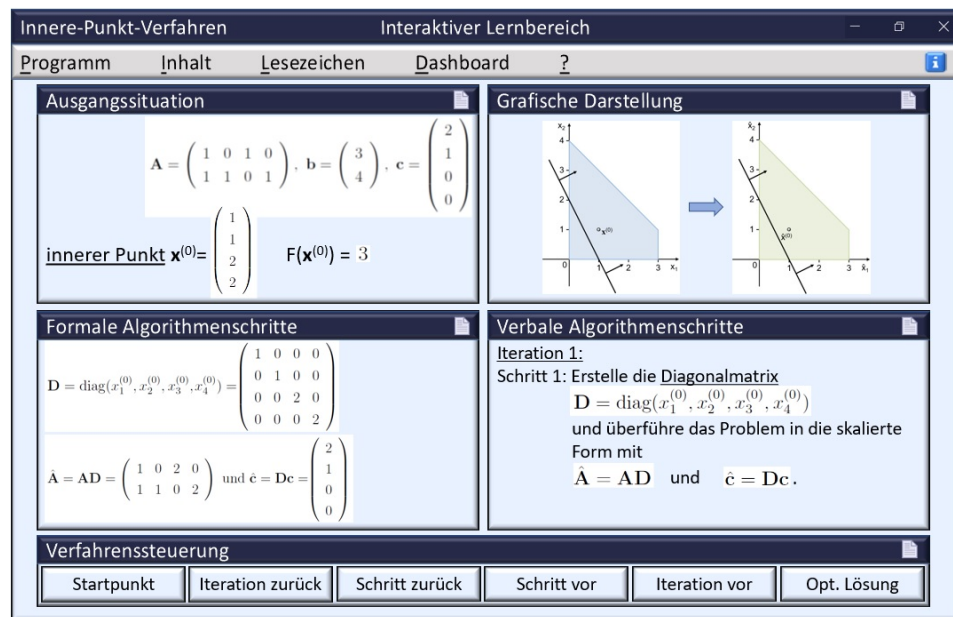


Abbildung 5.21: Iteration 1, Schritt 1

Im Feld „Verbale Algorithmenschritte“ sind die durchzuführenden Rechenschritte in wenigen Worten umschrieben aufgeführt. Der Detaillierungsgrad kann auch hier angepasst und zusätzliche Erläuterungen eingeblendet werden. Im Feld „Formale Algorithmenschritte“ sind die erforderlichen Rechenschritte durchgeführt und die jeweiligen Ergebnisse aufgeführt. Über den „full-text-button“ lassen sich ausführlichere Rechenwege mit zusätzlichen Zwischenschritten anzeigen. Die Konsequenz aus dem durchgeführten Schritt zeigt sich dann auch mit Blick auf die grafische Darstellung. Hier wäre auch eine Animation zur Veranschaulichung des durchgeführten Schrittes denkbar.

Der Lernende hat an jeder Stelle des Verfahrens (bis auf Start- und Endpunkt) die Möglichkeit zu entscheiden, ob er sich in einzelnen Verfahrensschritten oder -iterationen nach vorne (oder zurück) bewegt. Er steuert dabei jedoch nicht nur die Verfahrensrichtung und den Detaillierungsgrad, sondern auch die Geschwindigkeit nach seinem eigenen Fortschritt im Lernprozess und den eigenen Vorlieben. Auch durch diese Gestaltungselemente ist eine Individualisierung des Lernens (siehe 5.1.2, S. 165 ff.) realisierbar.

Gemäß des Vorgehens des Verfahrens sind in einzelnen Schritten zu vermittelnde Fähigkeit erkennbar, die sich auch in ihre grundlegenden Teilfähigkeiten zerlegen lassen. In Abhängigkeit von deren Analyse und des erforderlichen Wissens können geeignete Instruktionmethoden auch für das Üben der ausgemachten Teilfähigkeiten ausgewählt werden, die sich dann gemäß des 4C/ID-Modells (siehe Abschnitt 4.1.2.1, S. 131 ff.) zu einer Trainingsstrategie zusammenfügen lassen.

Abbildungen 5.22 bis 5.26 zeigen die *Schritte 2* bis *6* der ersten Iteration.

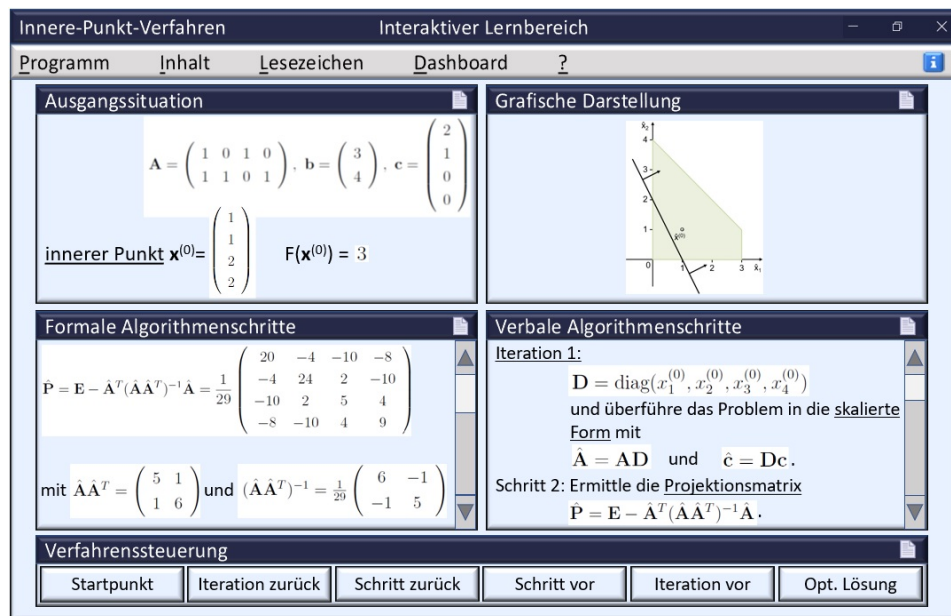


Abbildung 5.22: Iteration 1, Schritt 2

In *Schritt 3* (Abbildung 5.23) und *4* (Abbildung 5.24) kann der Lernende unmittelbar in den Verfahrensverlauf eingreifen, indem die Laufrichtung r' (*Schritt 3*) und/oder die Schrittweite α (*Schritt 4*) auch abweichend von der optimalen Vorgehensweise mit eigens ausgewählten Werten belegt werden können (in den Abbildungen symbolhaft über das „Einstellungs-Icon“ im Feld „Formale Algorithmenschritte“ erkennbar). Diese Eingriffe sind den didaktischen Interaktionen zuzurechnen (vgl. Abschnitt 5.1.1, S. 160 ff.). Durch Sie soll dem Lernenden eine weitere Möglichkeit geboten werden, den Algorithmus durch Ausprobieren besser zu verstehen und sich mit den Konsequenzen der Änderungen auseinanderzusetzen.

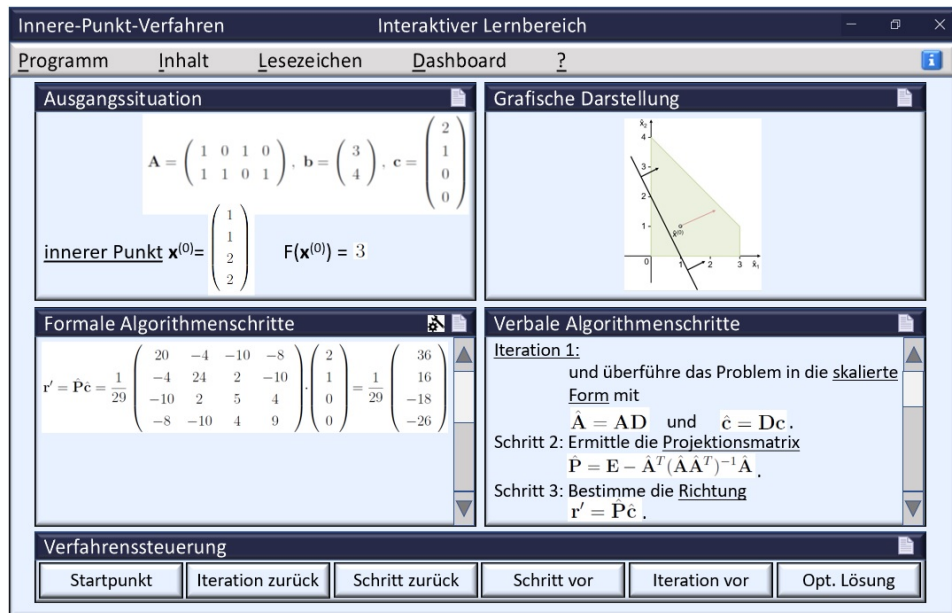


Abbildung 5.23: Iteration 1, Schritt 3

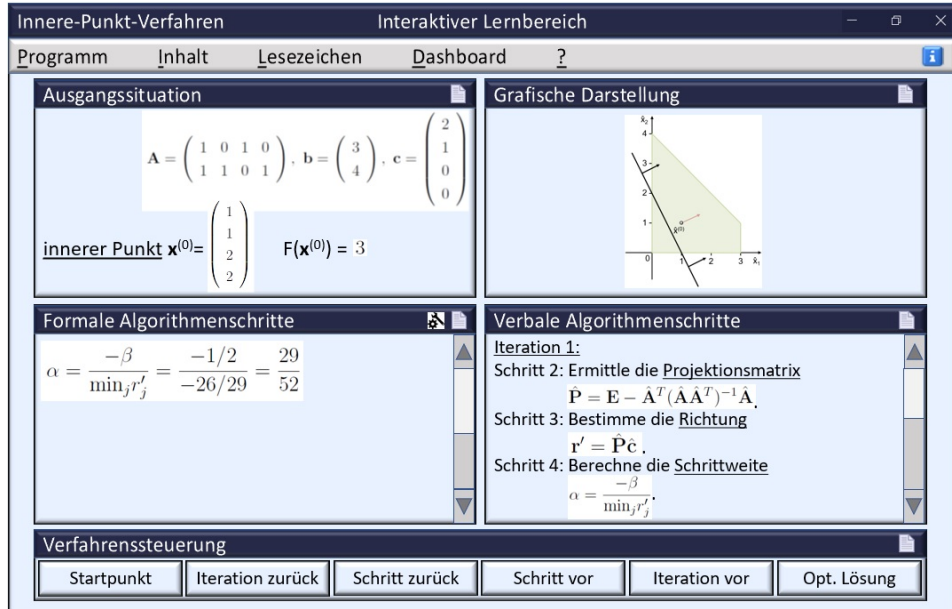


Abbildung 5.24: Iteration 1, Schritt 4

Die Aktivität des Lernenden soll hier also gefördert und unterstützt werden. Der Lernende kann hier folglich die durch seine Interaktion initiierte Veränderung unmittelbar beobachten und nachvollziehen (vgl. STRZEBKOWSKI und KLEEGERG (2002), S. 232). Die Software soll die eingegebenen Werte dabei

auf Durchführbarkeit prüfen und entsprechendes Feedback geben (vgl. 5.1.1, S. 160 ff.). Die vorgesehene Hilfe soll den Lernenden auf entsprechend unpassende Eingaben hinweisen, eine Erklärung zur Eingabe und eine Auswahl weiterer relevanter Informationen liefern (vgl. hierzu Abschnitt 4.3.3.2, S. 151 f. und siehe Abbildung 5.20). Auch dadurch wird das Verständnis gefördert und die Konstruktion von Wissen verbessert (vgl. Abschnitt 3.2.3, S. 91 ff.).

Die hier beschriebenen Interaktionen finden neben der kognitiven Ebene auch auf der motivationalen und affektiven Ebene statt (vgl. STRZEBKOWSKI (2001), S. 186). Durch die stattfindenden Elaborationsprozesse wird das neue Wissen stärker in den bereits aufgebauten Strukturen des Gedächtnisses vernetzt, als wenn durch die reine Vermittlung von Fakten die kognitive Ebene nur einseitig angeregt wird (vgl. ANDERSON (1989), S. 157 ff.).

Der Lernende soll hier auch die Gelegenheit zum Handeln, Ausprobieren und Anwenden erhalten, da dadurch Selbstwirksamkeit entstehen kann. Mit dem Konstrukt der Selbstwirksamkeit nach Bandura (BANDURA (1977)) ist die Erwartung des Lernenden gemeint, durch sein eigenes Handeln Effekte erzielen zu können (vgl. KERRES (2018), S. 33). Ein hohes Maß an Selbstwirksamkeit verbessert nicht nur die Handlungsplanung, sondern fördert zudem das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten und stärkt das Durchhaltevermögen, wirkt sich folglich also auch positiv auf die Motivation aus.

Der Lernende soll erleben, dass Handeln „Effekte“ auslöst. Der Kompetenzzuwachs muss selbst erfahren werden können. LIAW und HUANG (2013) untersuchten Umstände, unter denen Selbststeuerung beim E-Learning entsteht (vgl. KERRES (2018), S. 34). Es zeigte sich dabei, dass unter anderem neben Zufriedenheit und Nützlichkeit des Erlernten auch das Erleben von Selbstwirksamkeit bedeutsam dazu beiträgt, die Fähigkeit der Selbststeuerung zu entwickeln (vgl. LIAW und HUANG (2013), S. 14).

Im Verlauf des interaktiven, beispielorientierten Lernteils zeigen sich auch hypermediale Strukturen (siehe beispielsweise Abbildung 5.24). Wichtige Begriffe sind verlinkt. So kann der Lernende bei Bedarf weitere spezifische Informationen zu diesen erhalten. Die Links führen entweder zur einfachen Begriffsklärung zu Einträgen des Glossars oder aber zur ausführlicheren Betrachtung zu ent-

sprechenden Stellen des hypermedialen Theorieteils. Hierzu sei auch auf Eulers zentrale Gestaltungselemente einer Lernsoftware gemäß der zweiten Generation des Instruktionsdesigns (vgl. EULER (1994), S. 297) und dabei besonders auf das Prinzip der gestuften Hilfen verwiesen (siehe Abschnitt 4.1.2, S. 127 ff.). Der Lernende kann hier in Abhängigkeit seines gegenwärtigen Lernstands und -fortschritts eine angepasste Hilfe abrufen, d. h. er kann „bei Bedarf auf vertiefende Darstellungen der Lerninhalte zugreifen“ (EULER (1994), S. 297). Durch solche optionalen Hilfen (Glossar, kontextsensitive Hilfe, ...) wird die Misserfolgsangst verringert und die Zufriedenheit positiv beeinflusst (vgl. Abschnitt 5.2.2, S. 171 ff.). Auch der freie Zugriff auf Rückmeldungen bezüglich des Lernfortschritts etwa in Form eines Dashboards (siehe Abschnitt 4.3.4.2, S. 156 ff. und insbesondere Abbildung 4.11, S. 159) kann dazu beitragen (vgl. Abschnitt 5.2.2, S. 171 ff.).

In **Schritt 5** (siehe Abbildung 5.25) wird, basierend auf den zuvor ermittelten Werten für die Richtung und die Schrittweite, das neue Folgeglied $\hat{\mathbf{x}}^{(1)}$ berechnet.

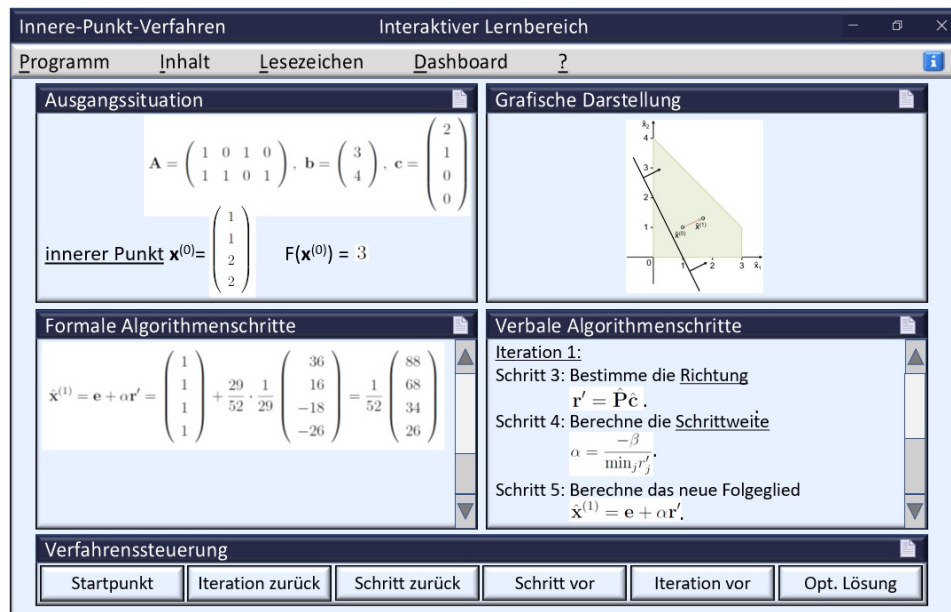


Abbildung 5.25: Iteration 1, Schritt 5

Dieser Schritt ist kurz in Worten im Feld „Verbale Algorithmentschritte“ dargestellt. Im Feld “Formale Algorithmentschritte“ ist der dazugehörige Rechenweg

aufgezeigt. Der Lernende kann diesen somit unmittelbar durch Nachrechnen überprüfen und nachvollziehen. Dazu kann und sollte der Lernende auch aufgefordert werden, d. h. die Software soll die Aktivität des Lernenden anregen, da das Verständnis des Algorithmus sicher auch die Fähigkeit umfasst, diesen Schritt für Schritt händisch (an einem adäquaten Beispiel) ausführen zu können.

Abbildung 5.26 zeigt **Schritt 6** der ersten Iteration. Hier findet der Übergang vom ursprünglichen Startpunkt $\mathbf{x}^{(0)}$ zum neuen Folgebunkt $\mathbf{x}^{(1)}$ statt.

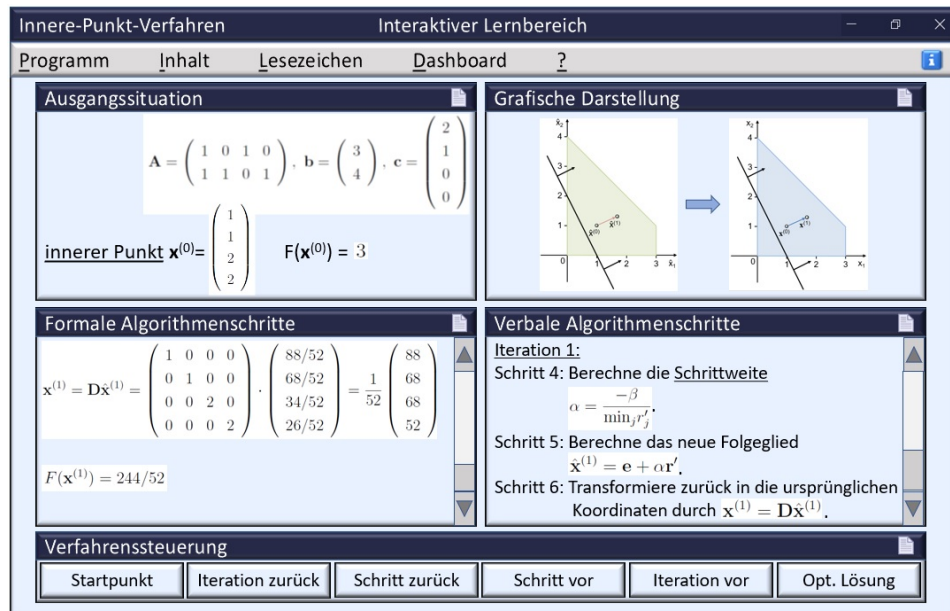


Abbildung 5.26: Iteration 1, Schritt 6

Damit ist der Algorithmus einmal durchlaufen. Die Verbesserung gegenüber dem Startpunkt ist auch unmittelbar anhand des gegebenen Zielfunktionswertes erkennbar. Der in Abbildung 5.26 ermittelte Punkt $\mathbf{x}^{(1)}$ dient nun als Ausgangspunkt für Iteration 2 (siehe Abbildung 5.27).

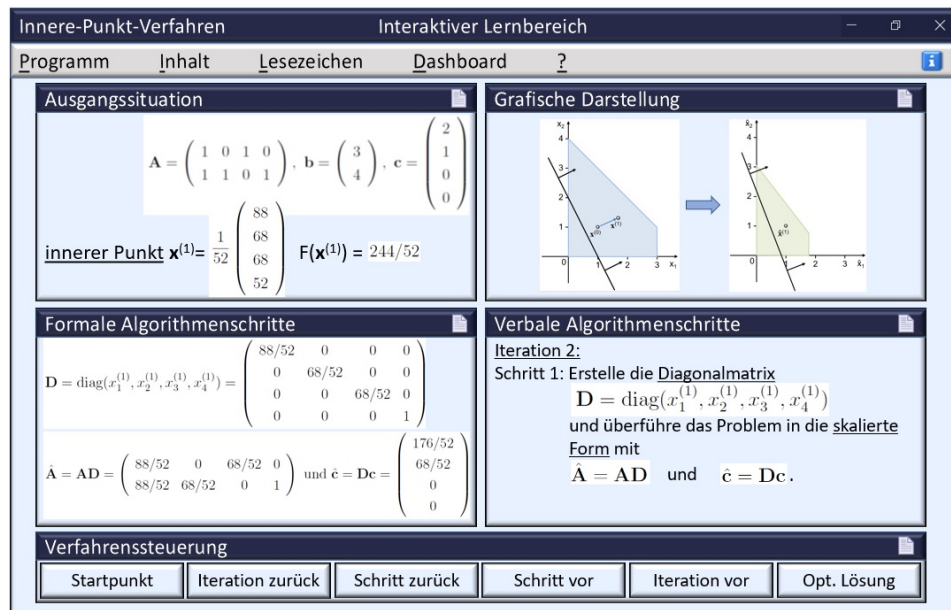


Abbildung 5.27: Iteration 2, Schritt 1

Das Verfahren kann nun Schritt für Schritt weiter im gerade betrachteten Detaillierungsgrad ausgeführt werden. Der Lernende hat jedoch auch die Möglichkeit, die Iteration, falls gewünscht, im Ganzen zu betrachten. Mit der Bewegung um eine „Iteration vor“ wäre in diesem Fall der Sprung zu Abbildung 5.28 verbunden.

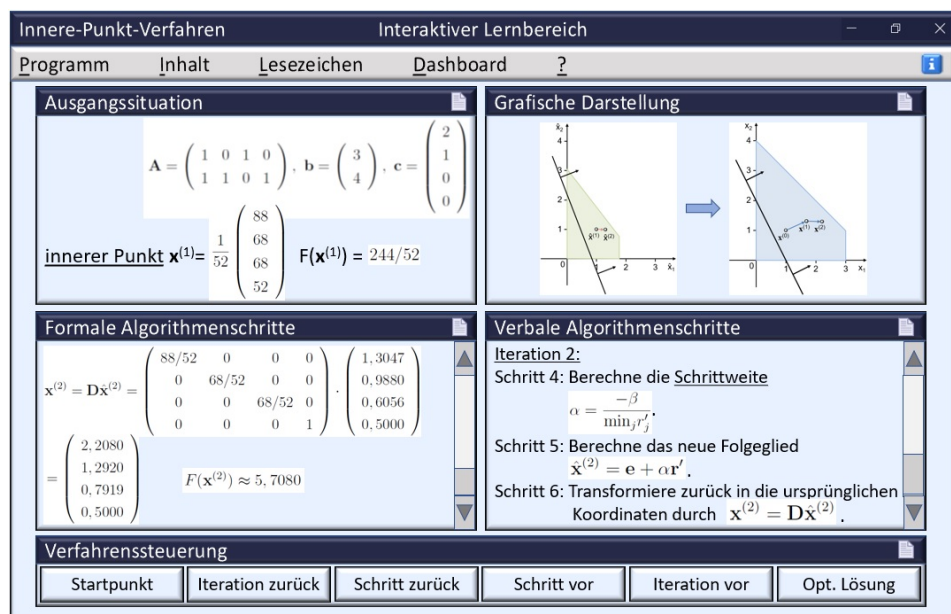


Abbildung 5.28: Iteration 2, Schritt 6

Hier sind im Feld „verbale Algorithmenschritte“ sämtliche in der betrachteten Iteration durchgeführten Schritte nachvollziehbar aufgeführt. Diese können im Feld „formale Algorithmenschritte“ ebenfalls aufgerufen werden. Auch ein unmittelbarer Sprung zur optimalen Lösung (oder zurück zum Startpunkt) ist jederzeit denkbar. Die optimale Lösung ist in Abbildung 5.29 dargestellt.

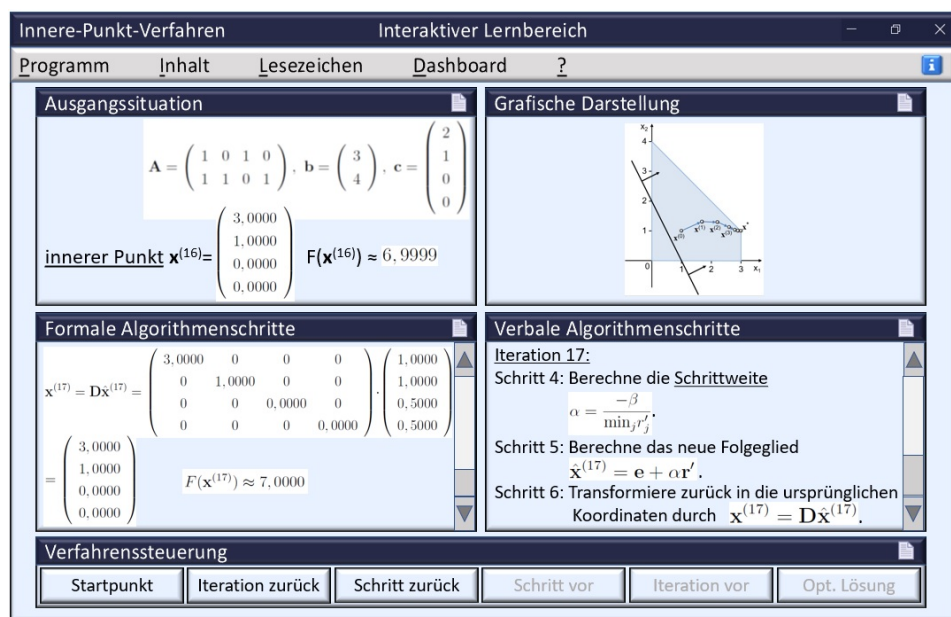


Abbildung 5.29: optimale Lösung

Zu erwähnen ist, dass es sich hierbei um eine Näherungslösung handelt, die unter den vorgegebenen Werten für die Verfahrensparameter zum Beenden des Algorithmus geführt haben.

Der hier dargestellte interaktive, beispielorientierte Lernteil soll insbesondere der Ausbildung der für die Algorithmienlehre erforderlichen pragmatischen Fertigkeiten (siehe Abschnitt 2.3.2, S. 39 ff.) dienen. Der Lernende soll sich individuell, aktiv und wiederholt mit dem Verfahren auseinandersetzen können. Dies soll auch ermöglichen, dass der Lernende den Nutzen des Verfahrens, dessen Anwendbarkeit sowie auch damit verbundene Vor- und Nachteile aus eigener Erfahrung einschätzen kann.

Der Aufbau und Ablauf des beispielorientierten Lernteils greift auch auf Ansätze des Cognitive Apprenticeship-Ansatzes (siehe Abschnitt 4.1.2.2, S. 133 ff.) zurück. Die Software kann als Experte betrachtet werden, die Schritt für Schritt in das Verfahren einführt und vom Lernenden dabei zunächst nur beobachtet werden kann. Dadurch kann sich der Lernende ein Konzept notwendiger Verfahrensschritte erzeugen. Nach eigenem Ermessen kann der Lernende Schritte selbst vornehmen, Parameter wählen und sich so in den Verfahrensablauf einbringen. Der Lernende wird dabei von der Software „betreut“, die Eingaben überprüft und dabei auch Tipps gibt. Sie soll dabei keinen ausschließlich explorativen Ansatz darstellen, sondern durchaus auch expositorisch beginnen, wobei die externe Steuerung Schritt für Schritt in Abhängigkeit vom Lernenden heruntergefahren werden kann.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass direktes Lernen in einer Arbeitsumgebung sowie das eigenständige Lösen von Problemen, das auch die Anwendung einer Methode auf unterschiedliche wirtschaftswissenschaftliche Sachverhalte einschließt, die Bildung tiefer Wissensstrukturen und die Verankerung erlangter Fähigkeiten und Fertigkeiten fördert (vgl. DÖRING (1991), S. 88 ff.).

Kapitel 6

Chancen und Herausforderungen von Lernsoftware in der Methodenlehre

6.1 Zur Evaluierung multimedialer Lernsoftware

6.1.1 Aufgaben, Ziele und Formen der Evaluation

In einer sehr allgemeinen Betrachtung bezieht sich der Begriff Evaluation auf Prozesse des Beurteilens und Bewertens (vgl. AHLSTICH und URICH-NEITZERT (2002), S. 3). Dieser wird üblicherweise für mit wissenschaftlichen Methoden durchgeführte Bewertungen verwendet. Das Wort „evaluieren“ lässt sich auf das lateinische Verb „valēre“ („wert sein“) zurückführen und gelangte über das französische Verb „évaluer“ („abschätzen“, „schätzen“) in die deutsche Sprache (vgl. DESCY und TESSARING (2006), S. 11).

Die Gesellschaft für Evaluation e. V. (DeGEval) führt für den Begriff Evaluation die Beschreibung „Die systematische Untersuchung von Nutzen und/oder Güte eines Gegenstands (Evaluationsgegenstand) auf Basis von empirisch gewonnenen Daten“ (DEGEVAL (2016), S. 66) auf. Diese „Impliziert eine Bewertung anhand offengelegter Kriterien für einen bestimmten Zweck“ (DEGEVAL (2016), S. 66). Als Bewertungsgegenstand „können z. B. Programme, Projekte, Produkte, Maßnahmen, Leistungen, Organisationen, Politik, Technologien oder Forschung“ (BÖTTCHER et al. (2014), S.7) betrachtet werden.

Nach der Gesellschaft für Evaluation e. V. sollen Evaluationen die vier grundlegenden Eigenschaften Nützlichkeit, Durchführbarkeit, Fairness und Genauigkeit aufweisen (vgl. DEGEVAL (2016), S. 18). Dies gilt natürlich insbesondere auch für wissenschaftliche Evaluationen.

Wottawa und Thierau legen dabei die folgenden Kennzeichen einer wissenschaftlichen Evaluation fest:

- „Evaluation dient als Planungs- und Entscheidungshilfe und hat somit etwas mit der Bewertung von Handlungsalternativen zu tun.“
- „Evaluation ist ziel- und zweckorientiert. Sie hat primär das Ziel, praktische Maßnahmen zu überprüfen, zu verbessern und über sie zu entscheiden.“
- Instrumente der Evaluation sollten „dem aktuellen Stand wissenschaftlicher Techniken und Forschungsmethoden angepasst sein“ (WOTTAWA und THIERAU (1990), S. 13).

Dabei sind bereits vielfältige Evaluationsinstrumente konzipiert worden (vgl. EHLERS (2005), S. 13). Grundsätzlich zu unterscheiden sind Evaluationen einerseits im Hinblick auf eine formative oder summative Vorgehensweise. Während beim formativen Vorgehen ein Prozess begleitet und optimiert wird, findet eine summative Evaluation nach Abschluss des Prozesses statt, wobei das Ergebnis dazu dient, diesen zu reflektieren und bei Wiederholung entsprechend anzupassen (vgl. PREUSSLER (2008), S. 30).

Andererseits können Bewertungsverfahren auch in interne und externe Verfahren unterteilt werden. Bei einer internen Evaluation sind die Gestalter einer Maßnahme oder Entwickler eines Produkts auch gleichzeitig Ausführende der Evaluation, wohingegen eine externe Evaluation dadurch gekennzeichnet ist, dass diese von unabhängigen, außenstehenden Akteuren durchgeführt wird (vgl. PREUSSLER (2008), S. 30). Abbildung 6.1 gibt hier zusammenfassend einen Überblick über die Formen der Evaluation.

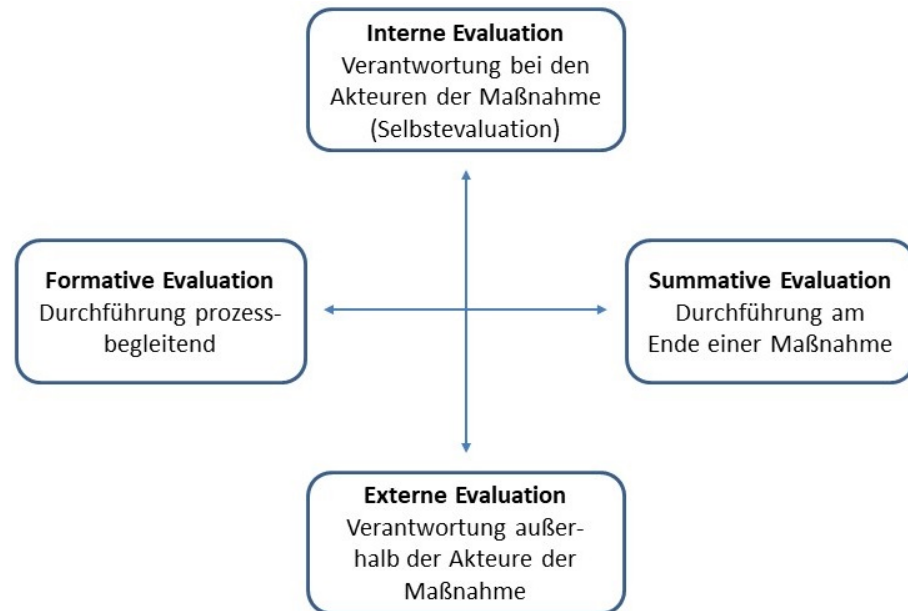


Abbildung 6.1: Evaluationsformen (in Anlehnung an PREUSSLER (2008), S. 30)

Die zunehmende Unterstützung von Lernprozessen durch digitale Formate führt natürlich auch zu einem Aufkommen der Frage nach deren Evaluation. D. h. auch digitale Lernformate müssen „sich immer wieder der kritischen Frage nach der Qualität stellen, zumeist assoziiert mit Lernerfolg“ (EHLERS (2005), S. 13). Zimmer und Psaralidis sehen als Ziel einer Evaluation die Beantwortung der Fragen, ob und wenn ja, welchen Beitrag die Lernsoftware zur Erreichung des angedachten Ausbaus an Handlungskompetenzen geleistet hat oder leisten kann (vgl. ZIMMER und PSARALIDIS (2000), S. 267). Damit verbunden lassen sich auch Chancen und Risiken digitaler Formate abschätzen.

In Anlehnung an Baumgartner soll auch hier der Fokus auf der didaktischen Komponente liegen, wohl wissend, dass auch Aspekte der Ökonomie, wie etwa Kosten und Eingangsvoraussetzungen oder auch Facetten der Informatik, wie etwa die Robustheit einer Anwendung, Auswirkungen auf die pädagogische Qualität von Software haben (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 427). Nach Fricke ist Evaluation dabei gleichzusetzen mit der Evaluation eines Instruktionsdesigns (vgl. FRICKE (2002), S. 450). Durch die folgenden Ausführungen sollen die Möglichkeiten der Ermittlung der Güte von Lernsoftware grundlegend betrachtet werden.

6.1.2 Klassische Verfahren der Evaluation

6.1.2.1 Kriterienbasierte Instrumente

Kriterienbasierte Instrumente zur Beurteilung von Lernsoftware „enthalten Zusammenstellungen von Fragen und Einschätzungsskalen zur standardisierten Beschreibung und Beurteilung von Aspekten der technischen, inhaltlichen und didaktischen Qualität“ (BIFFI (2002), S. 3). Wichtige Merkmale digitaler Lernangebote führen etwa STRZEBKOWSKI und KLEEBERG (2002) auf oder sind beispielsweise bei THOMÉ (1989) zu finden.

In der Praxis sind sehr viele kriterienbasierte Bewertungsinstrumente zugänglich. Genannt sei hier etwa SODIS (Software Dokumentations- und Informationssystem) (vgl. KORBMACHER (2000)), das als Datenbanksystem über ein reines Bewertungssystem hinausgeht, oder auch MEDA (Methodologie d’Evaluation des Didacticiels pour Adultes) (vgl. MEIER (2000)), das eine Struktur zur Bewertung multimedialer Lernsysteme bereitstellt. In vielen Kriterienkatalogen überwiegen jedoch Kriterien aus dem Bereich „Gestaltung der Bildschirmoberflächen“ oder „Technik des Programmablaufs“, wohingegen didaktische Kriterien zu häufig unterrepräsentiert sind (vgl. EHLERS (2005), S. 18).

Generell lassen sich drei kriterienbasierte Instrumente unterscheiden (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 428):

- Kriterienkatalog: Auflistung einzelner Kriterien, Elemente, Eigenschaften oder entsprechender Gruppen ohne oder mit jeweiliger Gewichtung entsprechend ihrer Bedeutung, wobei diese unterschiedlich gewählt werden kann. Auf Basis dieser und der mit Punktwerten versehenen möglichen Ausprägungen der Kriterien werden Gesamtbewertungen erstellt.
- Checkliste: Sammlung von Kriterien, die es bei Erfüllung abzuhaken gilt.
- Anforderungskatalog: Liste von Anforderungen, deren Umsetzung und Erledigung zu beschreiben ist.

Kriterienbasierte Bewertungsverfahren können im Rahmen einer formativen und auch einer summativen Evaluation verwendet werden. Sie sind für diverse Evaluationsgegenstände, so auch für digitale Lernangebote und insbesondere

auch für Lernsoftware, am meisten verbreitet. Dafür sprechen mehrere Stärken dieser Instrumentenklasse. So ist die Bewertung von Lernsoftware mittels solcher Verfahren als vergleichsweise kostengünstig zu betrachten, einfach zu organisieren (auch von Nicht-Experten durchführbar) und zumindest auf den ersten Blick objektiv und methodisch sauber (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 431).

Grundsätzlich ist von Bedeutung, „dass bei jeder Evaluation die genauen Umstände der Lernsituation (Lernumgebung, Lernziele, Zielgruppe der Lernenden) für den Einsatz eines Lernsystems berücksichtigt werden“ (BENKERT (2001a), S. 1).

Benkert hat in seinem Kriterienkatalog „Erweiterte Prüfliste für Lernsysteme (EPL)“ über 250 Einzelfragen aufgeführt (siehe BENKERT (2001a)). Die EPL baut auf der 1989 von Dorothea Thomé vorgestellten „Großen Prüfliste für Lernsoftware (GPL)“ (THOMÉ (1989)) auf, aktualisiert und erweitert diese, um den veränderten Anforderungen an multimediale Lernsysteme Rechnung zu tragen (vgl. BENKERT (2001a) 1 f. und BENKERT (2001b), S. 104). „Ziel der EPL wie der GPL ist die fachunabhängige Bewertung multimedialer Lernsysteme unter besonderer Berücksichtigung didaktischer [...] Aspekte sowie Fragen der medialen Gestaltung, sowohl als Einzelbeurteilung von Lernsystemen als auch im Vergleich von Lernsystemen“ (BENKERT (2001a), S. 1).

Die EPL ist in die sechs folgenden Bereiche gegliedert (vgl. BENKERT (2001a), S. 2 f.):

- I. Kennzeichnung des Lernsystems
- II. Beurteilung des Lieferumfangs
- III. Beurteilung der Systembeschreibung
- IV. Beurteilung der Bedienung
- V. Beurteilung der medialen Gestaltung
- VI. Beurteilung des Lerninhaltes

Innerhalb dieser sind dann 23 Bewertungsabschnitte zu finden. So etwa innerhalb der „Beurteilung der Systembeschreibung“ Abschnitt 4 „Angaben über Zielgruppe und Lernziele“ und innerhalb der „Beurteilung des Lerninhaltes“ beispielsweise die Abschnitte

- 17. Gestaltung des Lerninhalts,
- 18. Adaptierbarkeit des Lerninhalts

oder etwa

- 20. Kommunikation und Kooperation,
- 21. Aufgaben- und Antwortgestaltung (vgl. BENKERT (2001a), S. 3).

Darunter finden sich dann jeweils bis zu 36 Fragestellungen und Aussagen.

Auch mit Blick auf andere Kriterienkataloge finden sich zentrale Kriterien zu Aspekten der Adaptivität, Motivation, Interaktivität, Bandbreite und Verständlichkeit der Fachinhalte (vgl. u. a. STRZEBKOWSKI (2001) 384 f.).

Basierend auf diesen Betrachtungen und der Arbeit von Gottfried et al., die in Ausrichtung auf verschiedene Grundsituationen, darunter auch die Situation „Selbststudium ohne Betreuung“, Kriterienkataloge zur qualitativen Bewertung von Lernsoftware entworfen haben (vgl. GOTTFRIED et al. (2002), S. 11 ff.), sollen hier einige Kernaspekte, insbesondere auch für die Evaluation von Lernsoftware für die Methodenlehre des Operations Research, aufgeführt werden.

- Lerntheorie, -inhalte und -struktur
 - Welche Lerntheorie verfolgt die Software?
Für die Methodenlehre sind kognitivistische und gemäßigt konstruktivistische Lerntheorien von besonderer Bedeutung. Der Lernende soll die betrachtete Methode nicht nur verstehen. Ihm kommt eine aktive Rolle zu, er steuert den Lernprozess selbst und konstruiert sich sein Wissen selbst (siehe Abschnitte 5.3.2, S. 179 ff. und 5.3.3, S. 188 ff.).

- Ist die Zielgruppe des Lernsystems klar beschrieben?
Dadurch kann insbesondere auch in der Methodenlehre des OR sichergestellt werden, dass das Lernangebot möglichst gut zum Lernenden passt – ein wichtiger Punkt, um die Wahrscheinlichkeit für Lernerfolg zu erhöhen (siehe Abschnitt 4.3.2.1, S. 145 ff. und Abbildung 4.2, S. 145).
- Sind die Voraussetzungen insbesondere mit Blick auf die erforderlichen Vorkenntnisse angegeben?
Das Vorwissen ist mit Blick auf die Methodenlehre des OR ein sehr wichtiger Aspekt. Für einzelne Methoden, aber auch Methodenklassen, lassen sich erforderliche Vorkenntnisse detailliert angeben. Diese sind für das Erlernen der jeweiligen Methode dann auch unerlässlich (siehe Abschnitt 4.3.2.1, S. 145 ff. sowie insbesondere Abbildungen 4.2, S. 145 und 4.4, S. 147).
- Werden die Ziele des Lernprogramms klar vorgestellt?
In der Methodenlehre des OR werden Instrumente zur Lösung bestimmter Problemstellungen vermittelt. Dabei ist es von besonderer Bedeutung zu wissen, inwiefern man durch einen Lernprozess in die Lage versetzt wird mit einem solchen Instrument umzugehen – welche Kompetenzstufe man nach erfolgreichem Lernprozess erreichen kann (siehe Abschnitt 4.3.2.1, S. 145 ff. und Abbildung 4.2, S. 145).
- Existiert eine klare Strukturierung des Inhaltes in Untereinheiten?
Die Methoden des Operations Research zeichnen sich, wie Algorithmen im Allgemeinen, durch einen klar strukturierten Ablauf aus. Demzufolge sollte auch der inhaltliche Aufbau eines Lernangebots zu solchen Verfahren klar strukturiert gegliedert sein (siehe Abschnitte 5.3.2, S. 179 ff. und 5.3.3, S. 188 ff.).
- Lassen sich die Einheiten (insbesondere auch einzelne Algorithmenschritte) beliebig oft wiederholen?
Das erfolgreiche Erlernen von OR-Methoden ist insbesondere auch durch Verständnis und Einsicht geprägt. Dazu sind im Einzelfall unterschiedlich viele Wiederholungen von Lerninhalten (Anwendungsvoraussetzungen, Aufbau, Ablauf, ...) aber auch von Verfahrensschritten erforderlich. Es ist notwendig, das betrachtete Verfahren Schritt für Schritt durcharbeiten zu können. In jedem Schritt kann eine

Regelerklärung und die Ausführung im Detail erfolgen. Diese sollten beliebig oft wiederholt werden können, da der Lernende so auch ein Verständnis für die algorithmische Denkweise entwickeln kann (siehe Abschnitte 5.3.2, S. 179 ff. und 5.3.3, S. 188 ff.).

- Pädagogisch-didaktische Gestaltung
 - Orientieren sich die Inhalte der Lernsoftware an der Zielgruppe?
Sollte sich die Lernsoftware nicht an der Zielgruppe und genannten Vorkenntnissen orientieren, besteht die Gefahr, dass einzelne Verfahrensschritte oder die betrachtete OR-Methode an sich nicht verstanden werden und der Lernerfolg sich nur teilweise oder gar nicht einstellt (siehe Abschnitt 4.3.2.1, S. 145 ff. und Abbildung 4.2, S. 145).
 - Werden die Anwendungsvoraussetzungen des Verfahrens erläutert?
Da Methoden des Operations Research üblicherweise zur Lösung einer bestimmten Problemstellung oder Problemklasse vorgesehen sind, ist es erforderlich über die entsprechenden Voraussetzungen der Anwendung eines Verfahrens, gerade auch mit Blick auf einen zielführenden Einsatz, informiert zu sein (siehe Abschnitt 5.3.2, S. 179 ff. und insbesondere Abbildung 5.10, S. 184).
 - Wird die Vorgehensweise des Verfahrens durch geeignete Beispiele gestützt?
Gerade beim Erlernen von Methoden des Operations Research ist es hilfreich die Vorgehensweise exemplarisch anhand von Beispielen zu betrachten. Mit didaktisch geeigneten, entsprechend komplexitätsreduzierenden Beispielen (Größe, Struktur, ...) lässt sich die Vorgehensweise sehr gut darstellen, erklären und nachvollziehen (siehe Abschnitt 5.3.3, S. 188 ff.).
 - Gibt es die Möglichkeit einer individuellen Anpassung (auch beim Verfahrensablauf) (etwa bei Schwierigkeit, Detaillierungsgrad, Übungsreihenfolge, Lernweg)?
Lerntempo und Lernwege können sehr unterschiedlich sein. Das kommt natürlich auch in der Methodenlehre des OR mit ihren vielfältigen Aspekten zum Tragen. Dem Lernenden sollte die Möglichkeit gegeben werden, nicht nur die Reihenfolge der Lerninhalte, sondern

etwa auch den Detaillierungsgrad der Erklärungen zu Algorithmenschritten festlegen und anpassen zu können, um ihn bei seiner Art der Wissenskonstruktion zu unterstützen. Dazu sollte es dem Lernenden auch möglich sein, eigene Beispiele mit einzubringen (siehe Abschnitte 5.3.2, S. 179 ff. und 5.3.3, S. 188 ff.).

- Wie sind interaktive Elemente gestaltet? Besteht die Möglichkeit aktiv in den Konstruktionsprozess einzugreifen?

Die pragmatischen Aspekte der Algorithmienlehre des Operations Research zielen auf die eigene Umsetzung der einzelnen Schritte ab – dadurch soll sich der Lernende das Rüstzeug für den Umgang mit Algorithmen erarbeiten. Der Lernende sollte aktiv in den Konstruktionsprozess eingreifen können. Dazu gehört unter anderem auch die Steuerung einzelner Schritte, um deren Ausführungen und Auswirkungen betrachten und nachvollziehen zu können (siehe Abschnitt 5.3.3, S. 188 ff.).

- Werden die Lerninhalte fachdidaktisch adäquat vermittelt (verständlich, richtig, eindeutig)?

Die Verfahren des OR sind durch eindeutige Abläufe gekennzeichnet, so dass die einzelnen Schritte auch mit Blick auf die Reihenfolge und deren Notwendigkeit eindeutig und richtig zu erläutern sind. Kleinste Abweichungen, unverständliche oder auch mehrdeutige Anweisungen führen zu fehlerhaft konstruiertem Wissen. Dieses hat die falsche Anwendung der Verfahren, falsche Lösungswege und Lösungen und auch Fehlinterpretationen von Ergebnissen zur Konsequenz (siehe Abschnitte 5.3.2, S. 179 ff. und 5.3.3, S. 188 ff.).

- Wird bei Wissensüberprüfungen ein didaktisch sinnvolles Feedback angeboten?

Gerade bei der Durchführung von Verfahrensschritten oder auch der Wahl und Festlegung von Parametern können Fehler passieren, die auf falsch konstruiertes Wissen beim Lernenden hinweisen. Didaktisch sinnvolles Feedback kann hier zur Korrektur der Wissenskonstruktion entscheidend beitragen (siehe Abschnitte 4.3.4.1, S. 152 ff. und 5.3.3, S. 188 ff.).

- Gibt es für das Nachschlagen von Fachbegriffen einen gesonderten Teil (Glossar)?

Innerhalb des Operations Research sind sehr viele Fachbegriffe vorhanden. Diese können allgemein, aber auch spezifisch für bestimmte Bereiche oder Verfahren gültig und von Bedeutung sein. Für die Methodenlehre sind diese unerlässlich. So kann im Lernprozess ein schneller und einfacher Zugriff auf Begriffserklärungen und -erläuterungen hilfreich sein (siehe Abschnitt 4.3.3.1, S. 149 f. und insbesondere Abbildung 4.6, S. 150).

- Multimediale Umsetzung
 - Enthält das Lernsystem für entsprechend geeignete Sachverhalte (Algorithmenschritte) Abbildungen und/oder Animationen?
Die Vorgehensweise von Methoden des Operations Research lässt sich in vielen Fällen grafisch sehr gut veranschaulichen. Einzelne Verfahrensschritte, aber auch das Verfahren in Gänze können dadurch präsentiert und erläutert werden. D. h. der Lernprozess kann hier durch Illustration der Vorgehensweise in Form einer Abbildung oder Animation bereichert werden (siehe Abschnitte 5.3.2, S. 179 ff. und 5.3.3, S. 188 ff.).
 - Ist der Bildschirm in übersichtliche Abschnitte für unterschiedliche Darstellungsformen gegliedert?
Die Vorgehensweise von Algorithmen lässt sich auf unterschiedliche Arten darstellen, die sich auch geeignet im Lernprozess kombinieren lassen. Es ist deshalb zielführend, den Bildschirm in verschiedene Bereiche zu unterteilen, um neben einer formalen und verbalen Beschreibung der Verfahrensschritte auch eine Illustration der Vorgehensweise in Form einer Abbildung oder Animation übersichtlich anbieten und unterbringen zu können (siehe Abschnitte 5.3.1, S. 176 ff., 5.3.2, S. 179 ff. sowie 5.3.3 S. 188 ff. und insbesondere Abbildungen 5.5, S. 178, 5.6, S. 180 sowie 5.16, S. 189).
 - Sind einzelne Programminhalte durch eine sinnvolle Netzstruktur miteinander verbunden?
Die Verfahren des OR sind durch eindeutige Abläufe gekennzeichnet, so dass die einzelnen Schritte auch in ihrem Aufbau und Ablauf in der Lernsoftware sinnvoll miteinander vernetzt sein müssen. Auch bietet es sich an, unterschiedliche Darstellungsformen eines

Verfahrens miteinander zu verknüpfen, um von einer zur anderen Form wechseln oder diese zusammen betrachten zu können (siehe Abschnitte 5.3.2, S. 179 ff. und 5.3.3, S. 188 ff.).

Nach der Betrachtung der bei einer Evaluation von Lernsoftware für die Methodenlehre des Operations Research zu berücksichtigenden Kernaspekte und der vorherigen Nennung von Stärken kriterienbasierter Verfahren ist nun festzuhalten, dass die Evaluation unter Verwendung kriterienbasierter Instrumente eben auch erhebliche Schwächen aufweist, die nachfolgend in Anlehnung an Baumgartner kurz aufgeführt werden sollen (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 431 f.):

- „Vollständigkeit und Detaillierungsgrad“:
Kriterienkataloge müssen sich den Vorwurf gefallen lassen, etwaige aufgenommene Kriterien nicht im notwendigen Detaillierungsgrad zu berücksichtigen. Letztendlich beziehen sie auch nicht alle angemessenen Kriterien mit ein. Beispielhaft sei hier erwähnt, dass Dorothea Thomé (THOMÉ (1989)) durch die vergleichende Gegenüberstellung von 23 Katalogen eine Liste mit 324 Einzelkriterien generiert hat, die sie durch kritische Überarbeitung zur bereits erwähnten „Großen Prüfliste für Lernsoftware“ (GPL) mit 221 Einzelkriterien gebündelt hat.
- „Fehlende oder strittige Bewertungs- und Gewichtungsverfahren“:
Hier ist die Frage nach der Gewichtung einzelner Faktoren problematisch. Doch gerade aber die Gliederung und die Gewichtung der einzelnen Kriterien sind maßgeblich für eine vergleichende Bewertung. Häufig wird diese etwa Pädagogen oder den Bewertenden selbst überlassen. Schlussendlich lässt sich die nur scheinbare Objektivität von Kriterienkatalogen nicht mehr aufrechterhalten.
- „Theoretische Orientierungslosigkeit“:
Der Entwurf sehr umfangreicher und stark unterteilter Kriterienkataloge ohne allgemein anerkanntes Gewichtungsverfahren lässt mehr und mehr die Frage nach dem zugrunde liegenden didaktischen Konzept außer Acht. Damit wird nicht nur der ursprüngliche Sinn von Evaluierungsverfahren unterlaufen, sondern möglicherweise zudem durch die isolierte Betrachtung der Lernsoftware ihre didaktisch angemessene Einbindung und die umfassende Gestaltung der Lernsituation nicht ausreichend berücksichtigt.

6.1.2.2 Rezensionen

Eine Alternative zu kriterienbasierten Verfahren stellen sogenannte Rezensionen dar. Die Bewertung von Lernsoftware findet hier durch Artikel in Fachzeitschriften, in denen die Software beschrieben und eingeschätzt wird, statt (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 432). Dadurch kann sich der Interessierte einen Überblick verschaffen und seine Vorstellungen bezüglich der entsprechenden Software ausbauen. Neben den hier zu nennenden Vorteilen der einfachen und günstigen Umsetzung sind hier insbesondere die Nachteile der subjektiven Sicht und der mangelnden Vergleichbarkeit aufgrund nicht einheitlicher Vorgehensweisen anzuführen (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 432 f.).

6.1.2.3 Überprüfung des Lernerfolgs

Hier findet die Beurteilung der Lernsoftware über die Ermittlung des Outputs, d. h. über die Messung des Lerneffekts statt. Dazu wird zunächst das Vorwissen einer Teilnehmergruppe ermittelt, bevor sich diese mit der Lernsoftware beschäftigt, um dann im Anschluss mit einem weiteren Test den Lernstand der Probanden erneut festzustellen (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 433). Die Differenz zwischen Pre- und Posttest lässt Rückschlüsse über den Lerngewinn der Teilnehmer zu, die es aber über entsprechende statistische Verfahren genauer zu analysieren gilt (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 433).

Von Vergleichsgruppenuntersuchungen wie etwa klassischer Präsenzunterricht gegen softwareunterstütztes Lernen rät Baumgartner aus methodischen Gründen ab (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 433). So könnten zum einen selbst bei großer Ähnlichkeit der beiden Gruppen in diversen Variablen die gegenüberzustellenden Lernsituationen durch viele situative Zufälligkeiten manipuliert werden, zum anderen gilt es die Interdependenz vernetzter Variablen zu bedenken (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 433).

Die hier aufgezeigten Verfahren offenbaren unterschiedliche Stärken und Schwächen, so dass keines davon als ideal bezeichnet werden kann. Basierend auf dieser Folgerung haben Baumgartner und Payr ein Vorgehensmodell entworfen (siehe etwa BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 95 ff. oder BAUMGARTNER (2002), S. 437 ff.), das die Evaluation von Lernsoftware in mehreren Stufen vorschlägt. Dieses Modell soll im folgenden Abschnitt betrachtet werden.

6.1.3 Das dreidimensionale heuristische Modell von Baumgartner und Payr

Baumgartner zieht basierend aus seinen Betrachtungen folgende drei Schlussfolgerungen, die als Basis seines dreidimensionalen heuristischen Modells dienen (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 437):

1. Die pädagogisch-didaktische Bewertung muss die soziale Situation, in der die Lernsoftware verwendet wird, mit einbeziehen und darf sich somit nicht nur auf die Software selbst beziehen.
2. Die Bewertung darf nicht den einzelnen Lernenden isolieren. Vielmehr muss sie die Bewältigung sozialer Situationen zur Basis haben.
3. Die Bewertung muss die Besonderheiten der verschiedenen stufenweise zu durchlaufenden Lernstufen berücksichtigen.

Kernstück der Vorgehensweise ist ein heuristisches Würfelmodell, das die verschiedenen Dimensionen des Lernprozesses mit Software darstellen soll (siehe Abbildung 6.2). Mit diesem dreidimensionalen Modell sollen die grundlegenden Kriterien für die Bewertung von Lernsoftware: Interaktionsform, Lernziel und soziale Lernsituation gleichrangig herangezogen werden (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 437).

Ein wesentlicher Gedanke des Modells ist die Entwicklung des Lernenden in Stufen vom „Neuling“ zum „Experten“ (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 436 f.). Danach richtet sich auch der Aufbau der Dimensionen. Die Dimension Lernziele beginnt beim einfachen „Erinnern“ und „Rezipieren“ und reicht bis zum obersten Ziel des „Entwickelns“ und „Handelns“. Dieser Aufbau lässt sich auch mit der in Abschnitt 3.5.1, S. 107 ff. aufgeführten „kognitiven Taxonomie der Lehrziele“ (siehe auch Abbildung 3.10, S. 111) in Einklang bringen. Die Dimension der Lerninhalte ist in fünf Komponenten von „Fakten“ und „kontextfreien Regeln“ bis zu „Gestalt- und „Mustererkennung“ aufgespannt. Die fünf Komponenten bauen dabei aufeinander auf.

Die Begriffe der Dimension Lerninhalte sollen an dieser Stelle mit Blick auf die Methodenlehre des Operations Research kurz erläutert werden:

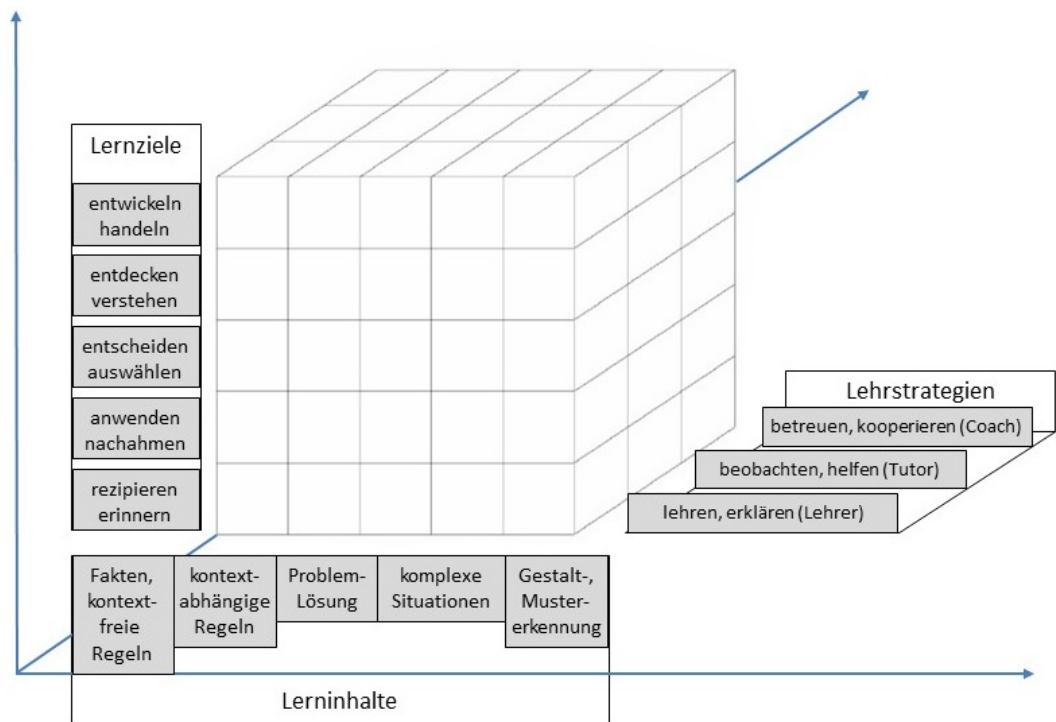


Abbildung 6.2: Heuristisches Modell zur Softwarebewertung (in Anlehnung an BAUMGARTNER (2002), S. 438)

- Mit *Fakten* und *kontextfreien Regeln* sind situationsunabhängige Inhalte gemeint. Präzise formulierte Fakten und kontextfreie Regeln werden durch sich verändernde Begleitumstände nicht betroffen. D. h. sie sind verbindlich und gelten stets auf dieselbe Art und Weise. So funktioniert beispielsweise die Multiplikation von Vektoren unabhängig vom Kontext immer in gleicher Form.
- *Kontextabhängige Regeln* gründen hingegen auf Wissen, das Bezug auf die Anwendung in einer bestimmten Situationen nimmt. Diese Regeln beschreiben folglich eine Vorgehensweise, die abhängig von gewissen Umständen ist. Sie können sich also in manchen Gegebenheiten auch als falsch oder unbrauchbar erweisen. Dazu zählt etwa die Wahl einer auf ein bestimmtes Problem zugeschnittenen Methode.
- Das *Problemlösen* ist auf Wissen gerichtet, das dazu erforderlich ist, vorhandene Probleme zu bewältigen. Unter Problemlösung ist dann die Lösung eines gegebenen Problems unter Verwendung der hierfür wesentlichen und notwendigen kontextfreien sowie kontextabhängigen Regeln zu

verstehen. Als Beispiel für eine Problemlösung ist hier etwa die Ermittlung einer Lösung für ein gegebenes lineares Programm unter richtiger Anwendung der Transformationsregeln (kontextfreie Regeln) und unter Anwendung einer geeigneten Methode (kontextabhängige Regeln) zu betrachten.

- Als *komplexe Situationen* sind solche anzuführen, die ohne wesentliche Vereinfachungen anzutreffen sind – alle Faktoren und Zusammenhänge der Gegebenheit sind erkennbar und aufgeführt. Damit könnte etwa „die Bewältigung komplexer Situationen [...] durch die Lösung von Textaufgaben abgedeckt werden“ (BAUMGARTNER (2002), S. 439). Für den Bereich des OR heißt das etwa, unter Verwendung der relevanten Informationen ein mathematisches Modell zu erstellen, dieses zu lösen sowie die Lösung entsprechend zu interpretieren.
- Mit der *Gestalt- und Mustererkennung* ist die Fähigkeit gemeint, Informationen und Objekte aus einer Menge filtern und diese gliedern und beschreiben zu können. Dabei sind Erkenntnisprozesse in Bezug auf Ähnlichkeit, Regelmäßigkeit und auch Gesetzmäßigkeit von großer Bedeutung. Bezogen auf das Operations Research bedeutet dies beispielsweise, aus einem realen ökonomischen Sachverhalt zunächst die für die Optimierung relevanten Informationen herauszufiltern, die Daten dann aufzubereiten, um anschließend daraus ein Modell zu erstellen.

Die Ebene der Lehrstrategien ist in einen *lehrendendominierten*, einen *tutorialen* und einen *Coaching-Ansatz* unterteilt. Dadurch wird die soziale Organisation miteinbezogen. Schulmeister nimmt dies als Aufnahme der Lerntheorien „Behaviorismus“, „Kognitivismus“ und „Konstruktivismus“ wahr (vgl. SCHULMEISTER (2003), S. 174).

Das hier betrachtete Modell sollte nicht als starres Schema verstanden werden, sondern eher als „Raumkontinuum“, in dem die Zuordnung von Lernsoftware als Orientierungshilfe fungiert, auf deren Grundlage Kriterien für die Bewertung von Lernsoftware gewichtet werden können (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 438). Die nachfolgend beschriebene Vorgehensweise ist nicht nur auf die summative, sondern auch auf die formative Evaluierung von Lernsoftware ausgerichtet (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 438). Das Verfahren setzt

beim Design der Lernsituation an und reicht über die Auswahl oder Erstellung von Lernsoftware bis zur summativen Bewertung von Vergleichsgruppen (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 438).

Mittels des abgebildeten 3-D-Würfelmodells (Abbildung 6.2) werden nach Festlegung der Rahmenbedingungen (Budget, Hardware, Software, Curriculum, offenes Lernen zu Hause, ...) die angestrebte Lernstufe mit der gewünschten Interaktionsform und der didaktischen Situation anhand der konkreten inhaltlichen Fragestellung bestimmt (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 439 f.).

Das abstrakte Würfelmodell wird dazu spezifiziert. Für das in dieser Arbeit betrachtete IP-Verfahren von Dikin könnte es anstelle des Lernens von „Fakten oder kontextfreier Regeln“ beispielsweise Lernen von „Anwendungsvoraussetzungen des Verfahrens“ oder „Regeln für die Skalierung von Problemstellungen“ heißen. „Kontextabhängige Regeln“ werden beispielsweise anhand eines oder mehrerer konkreter Aufgabenbeispiele erklärt, die auch demonstriert werden und in einen Gesamtzusammenhang „Problemlösung“ im Sinne der Lösungsermittlung für eine einfache gegebene Problemstellung eingebunden sind.

Nach Vorliegen der Software schlägt Baumgartner „eine vergleichende Analyse in Form von sog. ‚generierenden‘ Fragestellungen vor“ (BAUMGARTNER (2002), S. 439). Dabei werden „generierende“ Fragestellungen dazu verwendet, „das Problemfeld zu öffnen und die in der Software implementierten didaktischen Strategien transparent und vergleichbar zu machen“ (BAUMGARTNER (2002), S. 442). Dazu werden Kriterien- bzw. Checklisten verwendet, die dabei aber nicht als operationalisiertes Bewertungsinstrument dienen, sondern den Raum für eine vergleichende Analyse öffnen (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 440). Die Fragestellungen werden dabei schon auf Grundlage des Würfelmodells angewandt, so dass sie bestimmter als allgemeine Kriterienkataloge und aufgrund der Verknüpfung der verschiedenen Ebenen und Dimensionen des Würfelmodells auch auf einer abstrakteren (Meta-)Ebene angesiedelt sind (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 440).

Baumgartner führt fünf grundsätzliche Typen von Fragestellungen auf (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 440 f.):

- „Fragen zum Übergang von einer Komplexitätsstufe zur anderen“:
 - Wie wird dazu beigetragen, dass zu vermittelnde Fakten sich später einfach in einen Sachverhalt einbinden lassen?
 - Auf welche Art und Weise werden Regeln vermittelt, so dass diese später auch einfach zur Lösung von Problemen eingesetzt werden können?
- „Fragen zur selben Komplexitätsstufe“:
 - Wie wird innerhalb einer Ebene, d. h. in einer Würfelzelle, auf möglichst stetig wachsende Komplexität geachtet? Damit ist hier Reduktion von Komplexität gemeint, also „didaktisch bereinigte Aufgaben, die schrittweise komplexer und somit realitätsnäher werden“ (BAUMGARTNER (2002), S. 440).
 - Wie wird innerhalb einer Ebene berücksichtigt, dass sich die angedachten Fertigkeiten umfassend und nicht als Summe getrennter Teilfertigkeiten aneignen lassen?
- „Fragen zu (impliziten) Metastrategien“:
 - „Wie werden heuristische Faustregeln („tricks of trade“) vermittelt?“ (BAUMGARTNER (2002), S. 440).
 - „Wie werden Strategien zur Steuerung des Problemlösungsprozesses vermittelt?“ (BAUMGARTNER (2002), S. 440). (D. h. wann wird ein iterativer Prozess gestartet? Zu welchem Zeitpunkt wird eine Strategie verworfen und eine andere verfolgt?)
 - „Wie werden Lernstrategien vermittelt?“ (BAUMGARTNER (2002), S. 440).
- „Fragen zur Lehrstrategie“:
 - Welche Methoden kommen zum Einsatz, die dem Aufbau mentaler Strukturen dienlich sind („lehren: z. B. erklären“)?
 - Welche Maßnahmen finden sich zur Förderung der Aktivität („tutoring“: z. B. beobachten, helfen)?
 - Welche Methoden kommen mit Blick auf die zunehmende Übernahme von Verantwortung zur Anwendung („coaching“: stufenweises Zurückfahren der Hilfen)?
- „Fragen zur Verknüpfung aller drei Dimensionen (soziale Lernsituation)“:
 - Auf welchem Weg wird intrinsische Motivation angesprochen und wie wird extrinsische Motivation angekurbelt (siehe Abschnitt 5.2.1, S. 168 ff.)?

- Wie wird eine angemessene Lernkultur generiert? (etwa durch einen zu jeder Zeit möglichen Programmabbruch, die Einbeziehung von Hilfsmitteln, den Verzicht einer Zeitüberwachung, ...)
- Wie wird das soziale Umfeld miteinbezogen?

Die generierenden Fragestellungen kommen erst innerhalb einer konkreten Würfelzelle zum Einsatz, was im Vergleich zu herkömmlichen Kriterienkatalogen zu einer geringen Anzahl von 5-7 Fragen führt, so dass schlussendlich auch eine summative Bewertung durch die Erprobung der Software bei einer geeigneten Lerngruppe mit überschaubarem Aufwand möglich ist (vgl. BAUMGARTNER (2002), S. 441).

6.2 Grenzen digitaler Lerntechnologien

6.2.1 Hürden der technischen Voraussetzungen und erforderlichen Kenntnisse

Grundsätzlich soll noch einmal festgehalten werden, dass unter digitalem Lernen Angebote verstanden werden, bei denen digitale Medien zur Unterstützung des Lehr- und Lernprozesses eingesetzt werden. Dies kann über die Bereitstellung einer Lernsoftware, das Anbieten von Online-Lehrgängen bis zu virtuellen Unterrichtsräumen eine große Bandbreite an verschiedenen Formen bedeuten. Die nachfolgende Betrachtung von Vor- und Nachteilen digitaler Lerntechnologien soll zunächst nicht auf einzelne Formen an sich, sondern auf die zentralen Punkte digitaler Lehr- und Lernformen im Gesamten eingehen, aber an gewichtigen Stellen die Chancen und Risiken von Lernsoftware in der Methodenlehre des Operations Research gezielt zum Ausdruck bringen.

Zusätzlich sei hier erwähnt, dass die beschriebenen Vor- und Nachteile sich teilweise auch auf den Vergleich mit herkömmlichen, d. h. traditionellen Methoden der Wissensvermittlung beziehen. Das schließt aber nicht aus, dass die aufgezeigten Vor- und Nachteile auch teilweise in klassischen Lehr- und Lernmethoden ausgemacht werden können.

Für die effektive Verwendung von E-Learning-Programmen ist eine entsprechende technische Ausstattung aber auch ein sicherer Umgang mit Computern

(als Oberbegriff für entsprechende Hardware wie PC, Notebook, Tablet, ...) und diversen Medien erforderlich. Hier ist natürlich auch zwischen didaktischen Lehrbeispielen und realen Anwendungen zu differenzieren, da diese unterschiedliche Ansprüche an die technische Ausstattung und den Umgang mit dieser stellen. Zudem werden die Anforderungen an die Technik mit der Verfolgung höherer Lehrziele zunehmen. Letztendlich sind eine angemessene IT-Infrastruktur und die Vermittlung von Medienkompetenz wichtige Voraussetzungen, um die selektiv noch vorhandene Ablehnung elektronischer Lernangebote zu reduzieren. Im digitalen Zeitalter, so sollte man meinen, stellt dies zwar einen nicht zu vernachlässigbaren, aber durchaus überwindbaren Nachteil dar. Studien, etwa der Universität Duisburg-Essen (vgl. STAMMEN und EBERT (2020)) oder der Universität Göttingen (vgl. UNIVERSITÄT GÖTTINGEN (2020)), die hochschulinterne Erhebungen zu technischen Voraussetzungen für ein digitales Studium und rückblickende Bewertungen zum ersten aufgrund der Corona-Pandemie erforderlich gewordenen digitalen Semester unter ihren Studierenden dokumentiert haben, rücken diese Situation in eher kritisches Licht. Darin ist zu erkennen, dass die technische Ausstattung der Studierenden längst nicht für die Teilnahme an einem digitalen Studium ausreichend ist. An der Universität Göttingen etwa gaben 15,9 % der an der Studie beteiligten Studierenden an, die technischen Voraussetzungen, um an Online-Veranstaltungen teilnehmen zu können, nicht vollends erfüllen zu können; 0,8 % fehlen diese vollkommen (vgl. UNIVERSITÄT GÖTTINGEN (2020), S. 3). Am häufigsten fehlt es dabei an leistungsfähigen und stabilen Internetverbindungen (vgl. UNIVERSITÄT GÖTTINGEN (2020), S. 3).

An der Universität Duisburg-Essen gaben in der dortigen Studierendenbefragung „Noch online?“ im Bereich der technischen Ausstattung 28,4 % der Studierenden an, dass sie für das Online-Semester die Anschaffung eines oder mehrerer Geräte als notwendig erachten, sich diese jedoch nicht leisten könnten (vgl. STAMMEN und EBERT (2020), S. 4). In der Studie wird auch die Vermutung geäußert, dass sich einige Studierende zwar prinzipiell hardwaretechnisch vernünftig ausgestattet fühlen, jedoch trotzdem teilweise auf nicht ausreichende Hardware zurückgreifen (vgl. STAMMEN und EBERT (2020), S. 5). Bei der Abschätzung der tatsächlichen Notwendigkeit der Geräteanschaffung für die Teilnahme am Online-Semester geben letztendlich 19,4 % einen sogar dringenden Bedarf an Anschaffungen an. Bezüglich des genutzten Inter-

netzgangs beklagen 37,3 % der Studierenden Leistungseinschränkungen, die sie an der Durchführung studienbedingter Tätigkeiten hindern, die mehrmals pro Woche bis mehrmals täglich auftreten (vgl. STAMMEN und EBERT (2020), S. 22).

Insgesamt zeigt sich hier auch, dass die Studierenden zumindest teilweise auch auf die technische Infrastruktur einer Hochschule angewiesen sind und das Fehlen solcher Ressourcen zu spürbaren Beeinträchtigungen führt (vgl. STAMMEN und EBERT (2020), S. 10). In internationalen Studien ist zudem zu erkennen, dass Deutschland sich mit Blick auf die Medienausstattung an Schulen und Hochschulen im Vergleich der europäischen Staaten im hinteren Drittel wiederfindet (vgl. OECD (2020), S. 7 f.). Dadurch wird auch ersichtlich, dass die Digitalisierung im Bildungssektor von einem strukturellen Defizit betroffen ist, das sich nicht nur auf die Situation der Studierenden im gegenwärtigen digitalen Semester auswirkt (vgl. TRAUS et al. (2020), S. 9).

Mit Blick auf die technische Ausstattung und die speziellen für eine Lernsoftware erforderlichen Kenntnisse ist festzuhalten, dass bei der Gestaltung von Lernsoftware versucht werden sollte, die allgemeinen technischen Voraussetzungen sowie die speziellen Kenntnisse zum Umgang mit der Lernsoftware möglichst niedrig anzusetzen, um den Zugang zur Software zu erleichtern, so dass letztendlich der Inhalt und nicht die technische Umgebung im Vordergrund steht. So kann beispielsweise bei der Gestaltung der Software hinsichtlich des Aufbaus der Benutzeroberfläche und der Bedienung/Steuerung der Lernsoftware auf verbreitete, bewährte und intuitive Muster zurückgegriffen werden.

Zumindest geben in der Studie der Universität Göttingen 81,4 % der teilnehmenden Studierenden an, bereits Erfahrungen in der Nutzung mit digitalen Lehrangeboten gesammelt zu haben (vgl. UNIVERSITÄT GÖTTINGEN (2020), S. 32). Erfahrungen, die aus- und auf denen aufgebaut werden kann.

Neben den allgemeinen technischen und speziellen Anwendungsvoraussetzungen und -kenntnissen sind jedoch die inhaltlichen Voraussetzungen, die sogenannten Lernvoraussetzungen für den erfolgreichen Einsatz einer Lernsoftware von besonderer Relevanz. Diese sind dem Lernenden zwingend in angemessenem Detaillierungsgrad mitzuteilen, so dass sich, aufbauend auf der erforder-

lichen Basis, der gewünschte Lernerfolg einstellen kann. Insbesondere bei der Methodenlehre des Operations Research lassen sich Lernvoraussetzungen ziel führend identifizieren und formulieren.

In Abhängigkeit von der Erfahrung und Selbständigkeit des Lernenden können solche Hinweise ausreichend sein. Alternativ können erforderliche Vorkenntnisse in Form von Einstiegstests mit entsprechender Auswertung und Hinweisen in Bezug auf eventuelle Lücken oder Schwächen und zu deren Aufarbeitung verwendbare Quellen eingesetzt werden.

6.2.2 Falscher Einsatz und Fehleinschätzung technischer Möglichkeiten

Bei der Entwicklung elektronischer Lernangebote stehen sehr häufig technische Aspekte der Entwicklung und auch der Durchführung im Vordergrund. Zudem wird auch die Darstellung und Wiedergabe der Inhalte häufig nur von der technischen Seite aus betrachtet. Didaktische Fragestellungen werden oft vernachlässigt, so dass Lernprogramme meist nicht modernen didaktischen Anforderungen entsprechen. Dabei ist festzustellen, dass die Frage der Softwareentwicklung oft isoliert von den Rahmenbedingungen der Organisation von Bildung betrachtet wird. Das führt dazu, dass beispielsweise viele der entsprechenden Forschungs- und Entwicklungsprojekte zu sehr in Richtung Technologie geneigt sind und passenderweise als Technologie- denn als Bildungsprojekte zu bezeichnen sind (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 12).

Das den Computern lange anhaftende Motto: „Der Computer kann nur nach dem behavioristischen Lernmodell stur abfragen“ kann zwar mittlerweile als veraltet betrachtet werden, jedoch werden nach wie vor Entwicklungen im Hard- und Softwarebereich häufig in nicht ausreichendem Maß beachtet, wodurch die Gestaltung einer didaktisch sinnvollen Lehr- und Lernsituation unter Hard- und Softwareeinsatz nicht realisiert werden kann (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 12). Die ungenügende didaktische Ausgestaltung führt so zu einer geringen Effektivität des Lernangebots und möglicherweise zu einer Verfehlung des angestrebten Lernziels, da dadurch Lernbedürfnissen und -voraussetzungen des Lernenden, insbesondere auch in der Methodenlehre des OR, nicht entsprochen wird.

6.2.3 Feedback, soziales Umfeld und der Einfluss von Motivation und Selbstdisziplin

Bei vielen elektronischen Lehr- und Lernformen, so auch üblicherweise im Umgang mit einer Lernsoftware, ist der Lernende in einer Situation, in der er sich alleine mit den Inhalten, dargestellt auf dem Bildschirm seines genutzten Geräts, auseinandersetzt. Diese Situation ist sehr häufig Anlass für Kritik, da der Lernende als isoliert betrachtet wird und sich mit den Lerninhalten allein konfrontiert sieht (vgl. KERRES und JECHLE (2002), S. 268). Die Kritik wird in diesem Fall mit zahlreichen Argumenten untermauert. So ist etwa ein persönliches Feedback in einem solchen Fall nur schwer realisierbar, Möglichkeiten für Rückfragen sind begrenzt und auch das fehlende soziale Umfeld wird angeführt. Die Inhalte werden präsentiert und darauf basierend aufgenommen, Fehlinterpretationen bleiben häufig unerkannt, Unsicherheiten im Gelernten können nicht aufgefangen werden und haben direkten Einfluss auf den Lernerfolg. Auch dynamische Problemlösungsprozesse, die in Lernverbänden (Schulklasse, Kurs, Schulungsgruppe, ...) konventioneller Lernarrangements entstehen, können in solch einer dargestellten Situation nicht zustande kommen.

Die hier genannten Nachteile sind nicht nur in Summe, sondern auch jeweils separat betrachtet, sehr gewichtig. Diesbezüglich unterscheidet sich diese Situation letztendlich aber auch nicht sonderlich von Frontalunterricht und Selbststudium aus Büchern und Kursunterlagen. Jedoch können die aufgeführten Nachteile bei entsprechender technischer und didaktischer Gestaltung des digitalen Lernformats und unter Berücksichtigung zunehmender Vernetzung und Verwendung moderner und neuer Kommunikationstechnologien abgemildert und möglicherweise sogar ins Positive umgekehrt werden. So kann ein unmittelbares und auch situationsbezogenes Feedback so in die Software integriert werden, dass der Lernende tatsächlich auch Nutzen daraus zieht. Kontextsensitive Hilfefunktionen können zu einer gezielteren Unterstützung des Lernenden, gerade auch beim Lernen von Methoden des OR beitragen (siehe Abschnitt 4.3.3.2, S. 151 f.).

Raum für Rückfragen kann in schriftlicher Form im Rahmen von E-Mails ermöglicht werden. So ist ein direkter Kontakt und das Erhalten von Antworten möglich. Die genannte Studie der Universität Göttingen zeigt hierzu auf, dass

zumindest unter ihren Studierenden E-Mail das häufigste Kommunikationsmittel mit Lehrenden ist (vgl. UNIVERSITÄT GÖTTINGEN (2020), S. 34). Als weiteres Instrument stünde die zeitweise Bereitstellung eines Live-Chats zur Verfügung, der neben dem direkten Kontakt auch das unmittelbare Erhalten von Antworten und schriftlichen Dialogen ermöglichen würde. Den Lernenden kann darüber hinaus ein Forum zur Verfügung gestellt werden, in dem sie sich über Probleme und Erkenntnisse austauschen könnten. So kann auch, wenn auch in äußerlich anderer Form, ein dynamischer Prozess der Problemlösung stattfinden. Des Weiteren wären virtuelle Klassen-, Kurs- oder Schulungsräume denkbar, die diese Prozesse noch expliziter unterstützen würden.

Mit Blick auf die Befragung der Universität Göttingen ist zu erkennen, dass die Studierenden hierzu noch Vorbehalte hegen. So haben auf die Frage, ob sie sich vorstellen können, online in Lerngruppen mit Kommilitonen/-innen zu lernen, nur 53,8 % der Studienteilnehmer/-innen unmittelbar mit „ja“ geantwortet. 15,7 % können dazu noch keine Aussage treffen und 30,5 % haben mit einem deutlichen „nein“ reagiert (vgl. UNIVERSITÄT GÖTTINGEN (2020), S. 28). In der Studie der Universität Duisburg-Essen betonen 72,2 % der Teilnehmer die Wichtigkeit der persönlichen, lehrveranstaltungsbezogenen Beratung auch bei räumlicher Distanz (vgl. STAMMEN und EBERT (2020), S. 12). Dabei äußern 54,5 % der Befragten Bedenken darüber, „dass durch Lehre auf Distanz die Möglichkeiten zur Diskussion und zum Austausch über Fachinhalte eingeschränkt werden“ (STAMMEN und EBERT (2020), S. 12); 19,1 % sind diesbezüglich noch unentschlossen und die restlichen Teilnehmer teilen diese Sorge nicht (vgl. STAMMEN und EBERT (2020), S. 12). Auch nur etwa die Hälfte der Teilnehmer (49,7 %) stimmt der Aussage zu, dass der persönliche Austausch mit Kommilitonen/-innen ihnen auch in digitaler Form gelingt; 24 % stimmen der Aussage (gar) nicht zu (vgl. STAMMEN und EBERT (2020), S. 12). In der Studie der Universität Würzburg wird insgesamt von 76 % der teilnehmenden Studierenden befürchtet, dass das Studium durch digitale und Online-Lehre unpersönlicher wird (vgl. PAULI et al. (2020)).

Letztendlich ist festzuhalten, dass Computer, Notebook, Tablet und ähnliche Geräte den Lernenden nicht zwingend sozial isolieren. Die soziale Interaktion Mensch-Mensch wird also nicht durch den programmgesteuerten Dialog

mit der Maschine ersetzt (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 12). Mehr noch kann die soziale Interaktion Mensch-Mensch auf vielfältige Art und Weise durch moderne und ausgefeilte Kommunikationstechnologien unterstützt werden und eröffnet dieser hierbei geradezu neue Wege.

Doch gerade auch in einer Beschränkung von Kommunikationsmöglichkeiten können Chancen für einen erfolgreichen Lernprozess liegen. So kann sich der Lernende auf das Wesentliche besinnen und sich selbst mit dem Lerngegenstand auseinandersetzen. Gerade in der Methodenlehre des Operations Research ist es für die Ausbildung der pragmatischen Fertigkeiten erforderlich, dass sich der Lernende individuell und aktiv mit dem Verfahren beschäftigt und dieses Schritt für Schritt wiederholt und durchdenkt, so dass ein ungehinderter und eigenständiger Zugang zum jeweiligen Verfahren gelingt. Das Verständnis des Algorithmus umfasst dabei sicherlich auch die Fähigkeit diesen selbst händisch auszuführen. Dies entspricht auch dem grundlegenden Gedanken des Konstruktivismus, wonach sich der Lernende sein Wissen selbst konstruieren soll beziehungsweise auch muss (siehe Abschnitt 3.1.3, S. 81 ff.).

Die schon im Vorfeld beschriebene isolierte Situation des Lernenden, die sich mitunter auch häufig aus der im nächsten Abschnitt beschriebenen Flexibilisierung der zeitlichen und räumlichen Dimension ergibt, führt zur bereits beschriebenen Situation, dass die Lernenden sich selbst überlassen sind und mit den Lerninhalten alleine gelassen werden. In einem solchen, wenn auch durch bereits angeführte Punkte entschärften Szenario sind die Fähigkeit, sich selbst zu motivieren und die Kompetenz, sich selbständig neue Lerninhalte anzueignen, für das Erreichen von Lernzielen mit ausschlaggebend.

Es lässt sich hier natürlich anführen, dass beispielsweise in der klassischen Lernform der Präsenzlehre der Lehrende durchaus motivierend unterstützen, anleiten und betreuen kann. Aber auch hier ist ein gewisses Maß an intrinsischer Motivation des Lernenden erforderlich. Eben auch, wenn man bedenkt, dass der Lernprozess auch in dieser Form vom Lernenden fortgesetzt wird, wenn er sich alleine mit den Lerninhalten auseinandersetzt, um das Gelernte zu vertiefen oder um sich entsprechend auf eine Prüfungssituation vorzubereiten.

Dem gegenüber ist anzuführen, dass auf der einen Seite die Kompetenz sich selbst neue Inhalte anzueignen erworben werden kann und dies auch erstrebenswert ist. Auf der anderen Seite kann das elektronische Lernangebot didaktisch so aufgebaut sein, dass es entsprechende motivierende Elemente beinhaltet. D. h. Lernsoftware kann folglich den Lernprozess bei entsprechender Gestaltung auch extrinsisch motivierend begleiten. In gewissen Fällen kann die intrinsische Motivation durch solche externen Anreize auch eine Steigerung erfahren (vgl. Abschnitt 5.2.1, S. 168 ff.).

Darüber hinaus ist zu beobachten, dass der Lernende zusätzliche Motivation dadurch erfahren kann, dass er im Lernprozess mit neuen Medien in Berührung kommt (vgl. KERRES et al. (2002), S. 131). Der Prozess des Lernens kann also in manchen Fällen alleine schon dadurch bereichert werden, dass digitale Inhalte betrachtet und bearbeitet werden können. Studien zufolge ist dieser Effekt zwar nicht andauernd (vgl. KERRES et al. (2002), S. 131), aber der erste Schritt wäre gemacht und weitere Schritte im Umgang mit digitalen Lernformaten können folgen. So ist in der bundesweiten Studie „Stu.di.Co.“ der Universität Hildesheim etwa auch das Kennenlernen von und Arbeiten mit digitalen Programmen und Methoden mit am häufigsten als Vorteil des digitalen Semesters in der Zeit von Corona benannt (vgl. TRAUS et al. (2020), S. 22). Nach der Studie der Universität Duisburg-Essen ist die Bereitschaft unter den Studierenden mit 77,6 % sehr hoch, sich mit digitalen Lehr-/Lernformaten tiefergehend auseinanderzusetzen; nur 6 % lassen jegliche Bereitschaft vermissen (vgl. STAMMEN und EBERT (2020), S. 12). Die Einstellung gegenüber digitaler und Online-Lehre ist auch unter den Befragten der Universität Würzburg mit 57 % (65 % unter den Studierenden von MINT-Fächern) positiv, wobei die 26 % der Teilnehmer, die dieser Lehrform gegenüber negativ eingestellt sind, nicht vernachlässigt werden dürfen (vgl. PAULI et al. (2020)).

Dass die Motivation gerade auch in digitalen Lernangeboten ein wichtiger Aspekt sein sollte, zeigen auch Ergebnisse der bundesweiten „JuCo“-Studie, die sich um „Erfahrungen und Perspektiven von jungen Menschen während der Corona-Maßnahmen“ (ANDRESEN et al. (2020)) kümmert. Dabei zeigt die Studie auch, dass eben im Hinblick auf eine zunehmende Digitalisierung zu berücksichtigen ist, dass auch leistungsstarke Schüler und Studierende in der Phase des Lockdowns Probleme damit hatten, die Konzentration auf ihre Auf-

gaben zu lenken und sich bei nicht gegebener zeitlicher Struktur entsprechend zu motivieren (vgl. TRAUS et al. (2020), S. 10).

Die Umfrage „Noch online?“ der Universität Duisburg-Essen fördert die Information zu Tage, dass 41,2 % der teilnehmenden Studierenden befürchten, dass ihre Studienmotivation nachlassen wird, wenn die Lehre nur digital umgesetzt wird; zusätzliche 18,2 % sehen sich zumindest teilweise mit dieser Sorge konfrontiert (vgl. STAMMEN und EBERT (2020), S. 12).

Natürlich ist die Zeit während der Corona-Pandemie mit all ihren Sorgen und Ängsten auch unter Schülern und Studierenden in vielerlei Hinsicht eine besondere, allerdings ist der geringeren Motivation gerade auch aufgrund einer fehlenden Zeitstruktur Beachtung zu schenken, da nicht nur im nächsten Abschnitt, sondern auch in der Betrachtung vieler Lernenden die zeitliche Flexibilität und Unabhängigkeit gerade von digitalen Lernangeboten als sehr positiver Aspekt dargestellt wird.

6.3 Softwaredidaktische Potentiale

6.3.1 Kostenaspekte, Qualitätskontinuität, zeitliche und räumliche Unabhängigkeit

Den aufgeführten Nachteilen, Grenzen und auch Gefahren elektronischer Lernmedien stehen bei durchdachter Gestaltung, Ausrichtung und entsprechender curricularer Einbindung zahlreiche Vorteile und auch große Potentiale gegenüber. Die technische Entwicklung auf der einen, aber auch die Kenntnis dieser Entwicklung auf der anderen Seite führt dazu, dass die vielfältigen Möglichkeiten softwareunterstützten Lernens immer mehr ausgenutzt werden. Digitale Lernangebote, die Technik und moderne didaktische Anforderungen vereinen, sind nicht nur umsetzbar, sondern auch finanziell erschwinglich. So sind elektronische Lernarrangements, die kognitivistische und konstruktivistische Lernmodelle beinhalten, durchaus machbar und auch schon vorhanden.

Unter ausschließlicher Betrachtung der Entwicklungskosten eines durchdachten digitalen Lernarrangements, und das gilt auch für Lernsoftware, die sich um die Vermittlung der Methoden des Operations Research bemüht, sind diese

grundsätzlich als gewichtiger Nachteil solcher Angebote anzuführen. Die Planung, technische und didaktische Konzeption, Implementierung, Analyse sowie Modultests und anschließende Wartungsaufgaben sind mit hohen Kosten und einem immensen zeitlichen Einsatz verbunden.

Nicht zu vergessen sind dabei Kosten und zeitliche Aufwendungen, die durch Aktualisierungen der Inhalte der Lernsoftware anfallen. Da die Fachinhalte des Operations Research jedoch als relativ stabil betrachtet werden können, dürfte sich der Aufwand für Anpassungen und Aktualisierungen in vertretbarem Rahmen bewegen (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 211 und siehe Abschnitt 2.5, S. 70 ff.). Doch nicht nur inhaltliche Anpassungen sind erforderlich, auch die Anpassung der Software an hard- und softwaretechnische Entwicklungen, Designerneuerungen und dergleichen sind zu berücksichtigen, wenn die Lernsoftware nicht nur über einen kurzen Zeitraum nutzbar sein soll.

Stellt man diesen Aufwendungen die Tatsache gegenüber, dass die Zahl der möglichen Adressaten solcher elektronischer Lernprodukte zumindest theoretisch nahezu unbegrenzt ist, ergäbe sich dadurch ein unumkehrbarer Vorteil. Bezieht man zusätzlich mit ein, dass durch die Zeit- und Ortsunabhängigkeit digitaler Angebote (ein weiterer Aspekt auf der Vorteilsseite, der nachfolgend noch gesondert betrachtet wird) beispielsweise An- und Abreisekosten oder auch Planungs- und Durchführungskosten für herkömmliche Formen von Präsenzlehre entfallen, so gewinnt der Kostenvorteil zusätzlich an Gewicht. Ob die Kosten insgesamt nun aber als Vorteil oder Nachteil zu sehen sind, muss von Projekt zu Projekt wohl separat betrachtet und beurteilt werden, so dass die Einordnung des Kostenaspekts allgemein sehr schwierig bis unmöglich ist und deswegen hier nur festzuhalten ist, dass das Pendel in beide Richtungen ausschlagen kann. Gerade aber die durch technische Entwicklungen gesteigerten hard- und softwareseitigen Potentiale lassen die Implementierung didaktisch angemessener Programme in erschwinglichem Maße zu, so dass die Integration von Pädagogik und Technik in den Vordergrund rücken kann (vgl. BAUMGARTNER und PAYR (1999) 13 f.).

Die Möglichkeit mit einem entsprechenden digitalen Lernangebot eine Vielzahl von Lernenden zu erreichen führt unter anderem zu einem weiteren positiven Aspekt solcher Angebote, der hier unter der Titulierung „Qualitätskontinuität“

aufgeführt ist. Die Lernsoftware wird üblicherweise einmalig bereitgestellt. Die Lernenden greifen alle auf dasselbe Produkt in gleicher Art, Form und Qualität zu. Abweichungen in der Qualität der Lehre, wie sie etwa im Falle des Konzepts des Frontalunterrichts durch verschiedene Dozenten und Tutoren oder durch schwankende Tagesform eines Dozenten vorkommen können, sind dadurch prinzipiell ausgeschlossen. Der Erfolg der Lehrmaßnahme ist von solchen Einflüssen befreit und eine gleichbleibende Qualität gewährleistet. Sofern diese angemessen ist, ist man an dieser Kontinuität letztendlich auch in der Methodenlehre des Operations Research interessiert.

Jedoch muss hier auch eingeräumt werden, dass je nach Produktgestaltung die Anpassung an aktuelle Gegebenheiten beziehungsweise das Einarbeiten aktueller Bezüge nur schwer möglich ist und diese Arbeit unter Umständen in fremde Hände gegeben werden muss. Die Aktualisierung und Verbesserung von Unterlagen für Elemente der Präsenzlehre gestaltet sich hier vergleichsweise einfach.

Neben der beständigen Güte des Inhalts bietet der Umgang mit digitalen Lerninhalten weitere Qualitäten in zeitlicher und räumlicher Hinsicht, die sich je nach Ausgestaltung und Format in einer größtmöglichen Flexibilisierung dieser Dimensionen auswirken können. So ist man bei vielen Formaten digitaler Lernangebote im Gegensatz zu klassischen Angeboten der Präsenzlehre nicht an feste Termine (die etwa bei Vorlesungen, Schulungen oder Vorträgen einzuhalten sind) gebunden. Die Beschäftigung mit einer Lernsoftware kann man sich beispielsweise gemäß der eigenen zeitlichen Ressourcen einteilen und sich zu jeder Tages- und Nachtzeit mit dieser auseinandersetzen. Dadurch ist ein freies Lernen nach dem eigenen Rhythmus möglich, ohne dass dazu eine Abstimmung mit Dozenten, Kommilitonen und anderen Kurs- oder Schulungsteilnehmern stattfinden muss.

Dieser Vorteil in der zeitlichen Komponente wird durch die Erweiterung der räumlichen Dimension geradezu synergetisch verstärkt. Es ist dadurch nicht nur möglich, sich zu jeder beliebigen Zeit mit der Lernsoftware zu beschäftigen, sondern auch an nahezu jedem beliebigen Ort. Voraussetzung ist, dass an diesem die notwendige Infrastruktur bereit steht. Bei den heutigen technischen Gegebenheiten mit Notebooks, Tablets, Smartphones und Zugangsmöglichkeiten zum Internet ist eine weitestgehende Mobilität möglich und die räumliche

Komponente ist zumindest theoretisch nahezu grenzenlos. So lassen sich, plakativ formuliert, mit einer entsprechenden Lernsoftware folglich auch Methoden des Operations Research zu jeder Zeit an jedem Ort lernen.

Hierzu wird in der bereits erwähnten Studie „Stu.di.Co.“ der Universität Hildesheim unter den Studierenden insbesondere auch der Wegfall von Fahrzeiten an die Hochschulstandorte als positiv gewürdigt (56,0 % der Befragten) (vgl. TRAUS et al. (2020), S. 22).

Ohne die zuletzt genannten Vorteile in Bezug auf zeitliche und räumliche Unabhängigkeit entwerten zu wollen, muss festgehalten werden, dass das autodidaktische Lernen mit Büchern und ähnlichen analogen Lernmedien eben auch diese Vorteile bietet. Im Vergleich mit zentralen Formen klassischer Präsenzlehre sind diese Punkte jedoch sehr gewichtig und auch in Kombination mit anderen Aspekten können diese entscheidend sein.

In der Studie zu den Voraussetzungen für digitale Lehre im Sommersemester 2020 der Universität Göttingen wurden die Studierenden neben den bereits betrachteten technischen Möglichkeiten auch nach der Verfügbarkeit eines Arbeitsplatzes, der ein konzentriertes und zielführendes Arbeiten gewährleistet, befragt. Diesen haben an der Göttinger Universität allerdings nur 52 % als vorhanden bestätigt; 35,5 % haben mit „teils/teils“ geantwortet und für 12,5 % ist ein solcher gar nicht verfügbar (vgl. UNIVERSITÄT GÖTTINGEN (2020), S. 15). Hier weicht die theoretisch mögliche, nahezu grenzenlose räumliche Freiheit von den tatsächlich praktischen Gegebenheiten ab. Zumindest in Teilen führt hier die Auferlegung eines digitalen Semesters bei einem nicht gerade vernachlässigbaren Teil der Studierenden zu Barrieren ihrer Teilnahme am Bildungsgeschehen (vgl. TRAUS et al. (2020), S. 9).

In derselben Studie wurden die Studierenden auch dazu befragt, welche Form von Online-Lehrveranstaltungen sie lieber nutzen würden. Zur Auswahl standen dabei die beiden Alternativen „Bereitstellung von Lehrmaterialien und Videos zum zeitunabhängigen Selbststudium (zeitsouverän)“ und „Live-Übertragungen zu einem vorgegebenen Termin (linear/synchron)“ (vgl. UNIVERSITÄT GÖTTINGEN (2020), S. 22). Auf die erstgenannte Alternative entfielen dabei 71,7 % der abgegebenen Bewertungen. Die synchronen Veranstaltungen

wurden nur in 28,3 % der Fälle bevorzugt. Die Studierenden sind hier folglich sehr an der zeitlichen Flexibilität interessiert, die asynchrone Lehrangebote mit sich bringen und dadurch eine unabhängigere Organisation des eigenen Alltags zulassen. Das wird auch durch die Studie „Studieren in Corona-Zeiten“ der Universität Würzburg verdeutlicht, in der 68 % der Befragten digitale und Online-Lehre positiv betrachten, da sie diese Form der Lehre mit mehr zeitlicher Flexibilität verbinden (vgl. PAULI et al. (2020)).

Große Hoffnung verbinden viele Teilnehmer der Studie „Noch online?“ der Universität Duisburg-Essen damit, „dass selbst nach dem Ende der SARS-CoV-2-Pandemie mehr und bessere digitale Lehrformate – auch als Ergänzung zur Präsenzlehre – zur Verfügung stehen könnten“ (vgl. STAMMEN und EBERT (2020), S. 15). Sie heben dabei auch die Steigerung der zeitlichen und räumlichen Flexibilität, eine Stärkung der Eigenverantwortung der Studierenden sowie eine Verbesserung der Vereinbarkeit von Studium und Privatleben hervor (vgl. STAMMEN und EBERT (2020), S. 15).

6.3.2 Interaktivität und individuelle Lernwege

Der bedeutendste Vorteil und das wohl auch weitreichendste Potential ist in den Möglichkeiten diverser Interaktionsformen digitaler Lernformate, insbesondere auch von Lernsoftware, zu sehen. Die Möglichkeit, dass der Lernende „in den medial vermittelten Informations-, Kommunikations- und Lernprozeß gestaltend einbezogen“ (BAUMGARTNER und PAYR (1999), S. 128) werden kann, ist dabei, und das auch insbesondere in der Methodenlehre des Operations Research von vielfältigem Nutzen. Der Lernende kann und soll in einer virtuellen Umgebung Informationen auffinden und dabei unterschiedliche Formen der Wissensvermittlung erleben.

Wichtige Aspekte im Hinblick auf Vorteile und Potentiale des Lernens mit Software finden sich bei Betrachtung der für den Lernerfolg wichtigen Faktoren Lernweg und Lerntempo. Die Verwendung entsprechend gestalteter digitaler Lernprogramme erlaubt dem Lernenden das Bestreiten eines individuellen, mit den eigenen Erfahrungen, Kenntnissen und Vorlieben übereinstimmenden Lernweges. Dadurch wird insbesondere auch „die Integration neuen Wissens in die individuell vorhandenen mentalen Strukturen erleichtert“ (ISSING und KLIMSA (2002), S. 2).

So kann man sich beispielsweise beim Erlernen eines Algorithmus zunächst mit dessen theoretischem Ablauf auseinandersetzen, bevor man sich an die praktische Umsetzung und die Erprobung des Gelernten anhand eines Beispiels macht. Alternativ lässt sich zunächst auch der Ablauf des Algorithmus anhand eines Beispiels in einzelnen Schritten betrachten, bevor man sich auf theoretische Inhalte einlässt. Auch jede beliebige, zwischen diesen beiden Formen liegende, Vorgehensweise ist denk- und umsetzbar. Gerade Hypermediasysteme sind durch die nichtlineare, vernetzte Präsentation von Informationseinheiten dafür geeignet. „Sie ermöglichen einen flexiblen, selbstgesteuerten Zugriff auf diese Informationen“ (TERGAN (2002), S. 99).

Mitentscheidend im Lernprozess ist dabei das Lerntempo, das in seiner Ausprägung von Lernendem zu Lernendem sehr unterschiedlich sein kann. Mit Hilfe digitaler Lernprogramme kann jeder Lernende die Geschwindigkeit, mit der der eigene Lernweg bestritten wird, d. h. mit der er Inhalte betrachtet und bearbeitet, unabhängig von Kommilitonen, Mitschülern oder Schulungsteilnehmern selbst festlegen und steuern. Das Gefühl, auf andere warten zu müssen, sich zu langweilen, oder der Druck, der sich durch das Gefühl zu langsam zu sein ergibt, entfallen. Für den Lernerfolg ist das sicher förderlich, da der Lernende sich frei auf bevorzugten Wegen und in selbst gewählter Geschwindigkeit durch die Inhalte begeben kann. Das ist insbesondere auch in der Methodenlehre des Operations Research von großer Bedeutung. Für das Verständnis der Vorgehensweise ist die aktive Auseinandersetzung mit den Grundlagen und Regeln, nach denen einzelne Schritte vorzunehmen sind, sehr wichtig. Wenn das auf eigenem Weg und in selbst bestimmter Geschwindigkeit geschehen kann, ist dem Lernenden eine unterstützende Möglichkeit geboten, sich sein Wissen individuell zu konstruieren. Dies trägt auch zu einer Erleichterung vorgesehener Lernprozesse bei und soll selbstgesteuertes Lernen ermöglichen und fördern (vgl. ACKEREN et al. (2018), S. 487).

Neben Lernweg und Lerntempo ist speziell für die Ausbildung der pragmatischen Fertigkeiten in der Algorithmenlehre des Operations Research eine wiederholte Durchführung der Verfahren erforderlich. Dadurch kann das Verständnis für die Vorgehensweise des Verfahrens sowie die Kompetenz, sich exakt an Vorgaben und Regeln zu halten, aber auch die Kreativität in Bezug auf algorithmische Optimierung gefördert werden.

Zudem kann hier durch die Verwendung randomisierter Aufgaben dafür gesorgt werden, dass der Lernende verschiedene, individuelle Variationen der gleichen Aufgabenstellung erhält und somit die Eintönigkeit und Routine bei mehrmaliger Durcharbeitung einer Methode unterbrochen und so auch die Eigenständigkeit gesteigert wird.

Da die Anzahl an Wiederholungen von Inhalten, Erklärungen und Beispielen gerade auch in der Methodenlehre des OR ausschlaggebend für den Lernerfolg ist, ist hier die auch nahezu „grenzenlose Geduld“ von Lernsoftware anzuführen. Theoretische Inhalte, Beispiele, Übungssequenzen und dazugehörige Erklärungen können beliebig häufig betrachtet und wieder und wieder, auch in unterschiedlichen Detaillierungsgraden, durchgearbeitet werden. Die Eigenschaft der Wiederholbarkeit und der Bearbeitung in eigenem Tempo und individuellem Zeitmanagement wird beispielsweise auch von Teilnehmern der Studie „Noch online?“ der Universität Duisburg-Essen als besonders positiv hervorgehoben, verbunden mit Äußerungen der Form „Ich erwarte dadurch ein tieferes Verständnis des Stoffes“ (vgl. STAMMEN und EBERT (2020), S. 8).

Durch eine interaktiv und multimedial aufgebaute Lernumgebung kann dem Lernenden die Möglichkeit geboten werden, sich aktiv und problemorientiert mit Verfahren des Operations Research auseinanderzusetzen, um den jeweiligen Nutzen, die Anwendbarkeit und auch Vor- und Nachteile etwaiger Verfahren einschätzen zu können. Dazu ist es notwendig, den Algorithmus selbst zu steuern, auszuführen und in den Verfahrensablauf eingreifen zu können. Interaktivität ist dabei ein Instrument zur Optimierung der Auseinandersetzung des Lernenden mit dem Lerngegenstand.

Dem Lernenden kann und soll mittels Interaktivität die Gelegenheit zum Handeln, zum Ausprobieren und Anwenden gegeben werden. Auf diese Weise kann, wie bereits beschrieben, Selbstwirksamkeit entstehen, also die Erwartung eines Lernenden, durch sein eigenes Handeln Effekte erzielen zu können (vgl. KERRES (2018), S. 33). Dadurch wird nicht nur das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten verbessert, sondern auch das Durchhaltevermögen in Gestalt von Motivation gestärkt und zudem auch die Fähigkeit der Selbststeuerung weiterentwickelt.

Interaktivität ermöglicht direktes und angepasstes Feedback, eine Visualisierung der Vorgehensweise von Verfahren und kontextsensitive Hilfen (siehe Abschnitt 4.3.3.2, S. 151 f.), die gerade auch in der Methodenlehre des Operations Research den Prozess der Konstruktion von Wissen voranbringen. Insgesamt fördert das unmittelbare Lernen in einer Arbeitsumgebung und das eigenständige Lösen von Problemen den Aufbau tiefer Wissensstrukturen und die Internalisierung erlangter Fähigkeiten und Fertigkeiten (vgl. DÖRING (1991), S. 88 ff.).

Einigen Kritikern gehen die Interaktionsmöglichkeiten von Lernsoftware nicht weit genug. Dabei wird die mangelnde Fähigkeit, Denkprozesse des Lernenden nachvollziehen zu können, mit einem eingeschränkten Grad an Interaktivität im Vergleich mit einem Lehrer angeführt (vgl. SCHENK (1993), S. 119). Dem ist zunächst einmal nicht zu widersprechen und dem muss letztendlich auch nicht widersprochen werden. Die Stärken von Lernsoftware sollen, wie Blumstengel hierzu passend ausführt, „nicht in der Simulation eines Lehrers, sondern in der Förderung selbstgesteuerten Lernens durch reichhaltige, offene Umgebungen“ (BLUMSTENGEL (1998), S. 59) liegen .

Jedoch werden auch Anstrengungen unternommen, die die Simulation eines Lehrers, Tutors oder eines Lernpartners zum Ziel haben. Der Einsatz von sogenannten Bots, bei denen es sich um Softwareroboter handelt, die für diverse Aufgaben vorgesehen und programmiert sind, ist mittlerweile in zahlreichen Softwareprodukten wiederzufinden. Waren in der Vergangenheit solche Bots in Softwareprodukten zu finden, die als Assistenten auftraten und dabei durch geringe Kommunikations- und Aktionsmuster aufgefallen sind, so hat sich daran insbesondere auch durch wesentliche Fortschritt in der künstlichen Intelligenz vieles geändert und das Potential könnte, sollte es gelingen in gesprochener Sprache mit Bots zu kommunizieren, noch weitaus mehr ausgeschöpft werden (vgl. hierzu etwa LOTZE (2018), S. 35). So werden bereits sogenannte Social Bots in digitalen Lernangeboten als Mentoren eingesetzt, die den Lernenden in bestimmten Situationen unterstützen, ihm Aufgaben zuteilen, Feedback geben und auf diesen motivierend einwirken (vgl. NEUMANN et al. (2021)).

Darüber hinaus wird auch an Bots gearbeitet, die Denkprozesse des Lernenden nachvollziehen können, aus Aussagen des Lernenden Inhalt entnehmen und si-

tuativ passende Reaktionen in Form von Fragen und Antworten liefern, als künstliches Äquivalent zum Lehrer/Dozenten oder Lernpartner.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch entsprechende technische und didaktische Gestaltung einer Lernsoftware die Möglichkeit besteht, dem Lernenden einen ungehinderten, eigenständigen und adäquaten Zugang zum Lerngegenstand der Methodenlehre des Operations Research zu schaffen, der diesen im Lernprozess entscheidend voranbringen kann.

Kapitel 7

Möglichkeiten künftiger Entwicklungen spezifischer Lernsoftware für OR-Methoden

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird eine Konzeption für den Aufbau einer Lernsoftware für die Methodenlehre des Operations Research vorgestellt. Ausgehend von spezifischen Voraussetzungen und Anforderungen der Methodenlehre und auf Basis lerntheoretischer Erkenntnisse und geeigneter didaktischer Modelle wird der Aufbau und die Vorgehensweise einer Lernsoftware erarbeitet. Exemplarisch werden sowohl konzeptioneller Aufbau als auch Verfahrensweise einer spezifischen Lernsoftware für Methoden des Operations Research anhand eines grundlegenden Inneren-Punkt-Verfahrens, dem Verfahren von Dikin, zur Lösung linearer Optimierungsprobleme veranschaulicht.

Struktur und Ablauf sind jedoch auf eine Vielzahl von Methoden des Operations Research, insbesondere auch auf die in Abschnitt 2.2, S. 14 ff. genannten, übertragbar. Das betrifft zunächst die in Abschnitt 4.3, S. 143 ff. dargestellte didaktische Grundstruktur einer Lernsoftware nach dem 3-2-1-Modell von Kerres. Zudem ist damit die in Abschnitt 5.3, S. 176 ff. beschriebene grundsätzliche Aufteilung in eine hypermediale Lernumgebung zur Vermittlung der Theorie des betrachteten Verfahrens und eine interaktive, beispielorientierte Lernumgebung, um neben der Theorie auch die für das Verfahren erforderlichen pragmatischen Kenntnisse und Fertigkeiten zu fördern und zu stärken, gemeint. Weiter ins Detail gehend bezieht sich die Übertragbarkeit auch auf die

schematische Gestaltung und die Vorgehensweisen innerhalb dieser Bereiche, beispielsweise auf die systematische Aufteilung des Lern- und Arbeitsbereichs in der interaktiven, beispielorientierten Lernumgebung (siehe hierzu beispielsweise Abbildung 5.16, S. 189).

Bezüglich des strukturellen Aufbaus und der technischen Entwicklung einer Lernsoftware ist zu empfehlen, diese modular aufzubauen, die Software also in weitgehend voneinander unabhängige Teilsysteme und -leistungen aufzugliedern. Diese Teileinheiten können dann einzeln gepflegt und bei Bedarf mit geringem Anpassungsaufwand auch auf andere Weise verbunden und somit flexibel kombiniert werden. Auch lassen sich zusätzliche Module und Funktionen dadurch einfach ergänzen und hinzugefügen. Dies kann gerade eben mit Blick auf entsprechende Erweiterungsmöglichkeiten, benutzerspezifische Ausrichtung und Anpassung an aktuelle Entwicklungen und Erkenntnisse von großer Bedeutung sein.

Mit den in den vergangenen Jahren gemachten und in den kommenden Jahren zu erwarteten Fortschritten im Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) werden sich auch Lehr-/Lernsysteme weiter verändern. Dabei ist davon auszugehen, dass sich Fortschritte in immer kürzerer Zeit einstellen. Dazu erklärt DE WITT (2020) im Rahmen eines Vortrags über die „Zukunft der Hochschulbildung“: „Dass sich unser Leben voraussichtlich in den nächsten 10 bis 20 Jahren stärker verändern wird als in den 100 Jahren zuvor, liegt unter anderem an den disruptiven Technologien, zu denen eben Künstliche Intelligenz zählt“ (DE WITT (2020)).

Mit Blick auf die Gegenwart und die nahe Zukunft ist hier insbesondere die sogenannte „schwache“ KI von Bedeutung, die in spezifischen und in immer mehr Bereichen zur Anwendung kommt und im Gegensatz zur „starken“ KI, die allerdings noch nicht existiert, kein eigenes Bewusstsein vorweist (vgl. REINHART und GREINER (2019), S. 6 f.). Diese „schwache“ KI „kann uns im Kontext von Bildung helfen, zu verstehen, wie wir unsere menschlichen kognitiven Fähigkeiten verbessern und weiterentwickeln können – und wie unser Lernen funktioniert“ (DE WITT (2020)).

Gerade auch im Hinblick auf die grundlegende Frage, ob der Lernende oder das Lehr-/Lernsystem den Lernprozess stärker kontrollieren soll (vgl. LEUTNER (2002), S. 124), kann künstliche Intelligenz gewinnbringend eingesetzt werden. Hier kann KI etwa dazu genutzt werden, um herauszufinden, ob der Lernende allein zurechtkommt oder Unterstützung benötigt. Darüber hinaus kann mit Hilfe von KI auch über Umfang und Art der Unterstützung entschieden werden im Sinne intelligenter adaptiver Lehrfunktionen mit Anknüpfung an die in Abschnitt 4.3.3.2, S. 151 f. angesprochenen kontextsensitiven und adaptiven Möglichkeiten der Unterstützung.

Eine Erleichterung des Lernprozesses könnte zudem dadurch eintreten, dass KI dazu verwendet wird, dem Lernenden bei der Wahl des unter anderem in Abschnitt 6.3.2, S. 232 ff. betrachteten Lernpfades behilflich zu sein und ihm „maßgeschneiderte Lernpfade“ aufzuzeigen (vgl. DE WITT (2020)) und diese weiter zu individualisieren. Dies schließt die Auswahl angemessener und angepasster Beispiele und Übungsaufgaben auch mit Blick auf den Schwierigkeitsgrad mit ein. Darüber hinaus könnten Lern- und Protokolldaten, die auch Rückschlüsse auf das Verhalten des Lernenden zulassen und im Rahmen des Learning Analytics (siehe Abschnitt 4.3.4.2, S. 156 ff.) erfasst und analysiert werden, mit Hilfe von KI ausgewertet und unter anderem auch in der Auswahl und Steuerung motivationaler Instrumente ihren Einsatz finden.

Außerdem könnte KI beim Aufbau und Ablauf von Testsequenzen (siehe Abschnitt 4.3.4.1, S. 152 ff.) zum Einsatz kommen. So könnte unter deren Einsatz eben auch in der Methodenlehre des OR der Lernfortschritt automatisiert getestet und dabei Aufgabenstellungen in Reihenfolge und Schwierigkeitsgrad auf den aktuellen Wissenstand nicht nur angepasst, sondern womöglich auch entworfen werden. Zudem könnte KI an dieser Stelle hilfreich sein, in dem sie selbständig auch komplexe Aufgaben auswertet (vgl. DE WITT (2020)) und den Lernenden diesbezüglich mit entsprechendem Feedback versorgt.

Durch KI und Weiterentwicklungen der in Abschnitt 6.3.2, S. 232 ff. angesprochenen Bots könnten diese zukünftig „als fähige Sparrings-Partner“ (DE WITT (2020)) eben auch beim Lernen von Methoden des Operations Research fungieren und dadurch den Lernprozess erleichtern. Solche Bots könnten dem Lernenden eine unmittelbare, auch situationsbezogene und persönliche Rückmeldung

geben und Raum und Möglichkeiten für Nachfragen einräumen, so dass dieser tatsächlich auch Nutzen daraus ziehen kann.

Auch die Kritik an der Situation des isolierten Lernenden, der sich alleine mit den Lerninhalten konfrontiert sieht (vgl. KERRES und JECHLE (2002), S. 268), könnte dadurch abgemildert werden. Wie in Abschnitt 6.3.2 auf Seite 235 bereits angesprochen, könnte das Potential noch weitaus mehr ausgeschöpft werden, sollte es gelingen in gesprochener Sprache mit Bots zu kommunizieren. Nicht nur in dieser Hinsicht sind heute schon vielversprechende Ansätze vorhanden. So kann künstliche Intelligenz bereits und könnte letztendlich auch weiterhin dazu beitragen, einige der in Abschnitt 6.2, S. 220 ff. (und insbesondere in 6.2.3, S. 224 ff.) genannten und hier kurz aufgegriffenen Grenzen digitaler Lerntechnologien zu verschieben oder gar aufzuheben.

Im Rahmen der Anpassungen von Darstellung, Inhalt und Lernweg an den Wissenstand und die Bedürfnisse des Lernenden ist die Forschung basierend auf den Arbeiten zu „intelligenten tutoriellen Systemen“ fortzuführen (vgl. KERRES (2001), S. 71), auch bei wenig eindeutiger und unterschiedlich bewerteter Datenlage (vgl. KERRES (2018), S. 158). Ziel muss auch hier sein, aktuelle Eingaben des Lernenden für eine Diagnose seiner Kompetenz zu verwenden, die dem System dann als Grundlage für Entscheidungen über die Ausgestaltung des Angebots dient (vgl. KERRES (2001), S. 71). Dabei sind die gemachten, vielfach auch „desillusionierenden Erfahrungen sogenannter ‚intelligenter‘ tutorieller Systeme“ (KERRES (2001), S. 73) sowie die deutlich gewordenen „Grenzen dieses Ansatzes“ (KERRES (2018), S. 157) aufzuarbeiten und die künftigen Entwicklungen auf dieser Basis in die „richtige“ Richtung zu lenken.

Gerade in einer schnelllebigen Gesellschaft, bedingt auch durch die immer schneller vorangehenden Weiter- und Neuentwicklungen von Technologien, ist auch der Aspekt der zunehmenden Erfordernis lebenslangen Lernens verbunden mit dem sich steigenden Verlangen einer Flexibilisierung dieses Prozesses zu bedenken. An dieser Stelle leisten digitale Lernsysteme insbesondere in der universitären und beruflichen Aus- und Weiterbildung bereits einen wertvollen Beitrag und werden auch in Zukunft durch steigende Verfügbarkeit (auch in immer weiteren Bereichen) und die Erschließung neuer Zielgruppen in ihrer Bedeutung bei der Deckung des Bildungsbedarfs zunehmen (vgl. BLUMSTENGEL (1998), S. 248).

Jedoch ist auch mit Blick in die Vergangenheit bei allen technologischen Fortschritten eben nur dann ein Mehrwert für den Prozess des Lernens und den Lernenden zu erzielen, wenn dessen Bedürfnisse hinreichend Berücksichtigung finden und angemessene instruktionspsychologische und -didaktische Konzepte zum Einsatz kommen. Zudem muss ein durchdachtes und konstruktives Miteinander von klassischen und softwaregestützten Formen des Lehrens und Lernens stattfinden. Dazu „sind Lehrer und Dozenten, die hochmotiviert sind, die ihre Schüler und Studenten mitreißen können, und Programme, die interessant, spannend, hochinteraktiv und ästhetisch sind“ (SCHULMEISTER (1996), S. 387) notwendig.

Vor dem Hintergrund sich weiterentwickelnder und weiterverbreitender digitaler Lernsysteme müssen Lehrer und Dozenten zudem in der Lage sein, die Leistungsfähigkeit solcher Systeme adäquat beurteilen und diese wirkungsvoll einsetzen und einbinden zu können (vgl. LEUTNER (2002), S. 124). Für einen erfolgreichen Lernprozess, insbesondere auch im Bereich der Methoden des Operations Research, ist jedoch die Fähigkeit und die Bereitschaft des Lernenden zu selbständigem Lernen und zur kontroversen Auseinandersetzung mit Inhalten unabdingbar.

Literaturverzeichnis

- ACKEREN, ISABELL VAN, S. HEINRICH, P. HINTZE, A. BILO, U. BLOTEVOGEL, H. GOLLAN, A. PETSCHENKA und A. PITTON (2018). *Fazit zur E-Learning-Strategie und Perspektiventwicklung*. In: ACKEREN, ISABELL VAN, M. KERRES und S. HEINRICH, Hrsg.: *Flexibles Lernen mit digitalen Medien ermöglichen – Strategische Verankerung und Erprobungsfelder guter Praxis an der Universität Duisburg-Essen*, S. 483–489. Waxmann, Münster.
- AHLSTICH, KATJA und T. URICH-NEITZERT (2002). *Grundlagen der Evaluation*. In: HENNEN, MANFRED, Hrsg.: *Evaluation – Erfahrungen und Perspektiven*, Bd. 4 d. Reihe *Mainzer Beiträge zur Hochschulentwicklung*, S. 1–20. ZQ, Mainz.
- ANDERSON, JOHN ROBERT (1989). *Kognitive Psychologie – Eine Einführung*. Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg, 2. Aufl.
- ANDERSON, LORIN W., D. R. KRATHWOHL und B. S. BLOOM (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing – a revision of Bloom’s taxonomy of educational objectives*. Longman, New York.
- ANDLER, KURT (1929). *Rationalisierung der Fabrikation und optimale Losgröße*. Oldenbourg, München.
- ANDRESEN, SABINE, A. LIPS, R. MÖLLER, T. RUSACK, W. SCHRÖER, S. THOMAS und J. WILMES (2020). *Erfahrungen und Perspektiven von jungen Menschen während der Corona-Maßnahmen*. Technischer Bericht, Universitätsverlag Hildesheim, Hildesheim. <https://dx.doi.org/10.18442/120>. Abgerufen am 29. September 2020.
- AUFENANGER, STEFAN (1997). *Medienpädagogik und Medienkompetenz – Eine Bestandsaufnahme*. In: DEUTSCHER BUNDESTAG, Hrsg.: *Medienkompetenz im Informationszeitalter*, Bd. 4 d. Reihe *Enquete-Kommission Zukunft*

- der Medien in Wirtschaft und Gesellschaft. Deutschlands Weg in die Informationsgesellschaft*, S. 15–22. ZV, Bonn.
- BAACKE, DIETER (1997). *Medienpädagogik – Grundlagen der Medienkommunikation*. De Gruyter, Tübingen.
- BALAS, EGON (1965). *An Additive Algorithm for Solving Linear Programs with Zero-One Variables*. *Operations Research*, 13(4):517–546.
- BANDURA, ALBERT (1977). *Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change*. *Psychological Review*, 84(2):191–215.
- BARTH, CHRISTINA BARBARA (2010). *Kompetentes Diagnostizieren von Lernvoraussetzungen in Unterrichtssituationen: eine theoretische Betrachtung zur Identifikation bedeutsamer Voraussetzungen*. Doktorarbeit, Pädagogische Hochschule Weingarten.
- BAUMGARTNER, PETER (2002). *Pädagogische Anforderungen für die Bewertung und Auswahl von Lernsoftware*. In: ISSING, LUDWIG J. und P. KLIMSA, Hrsg.: *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*, S. 427–442. Beltz PVU, Weinheim, 3. vollständig überarbeitete Aufl.
- BAUMGARTNER, PETER (2011). *Taxonomie von Unterrichtsmethoden – Ein Plädoyer für didaktische Vielfalt*. Waxmann, Münster.
- BAUMGARTNER, PETER und S. PAYR (1997). *Erfinden lernen*. In: MÜLLER, ALBERT, K. H. MÜLLER und F. STADLER, Hrsg.: *Konstruktivismus und Kognitionswissenschaft – Kulturelle Wurzeln und Ergebnisse. Heinz von Foerster gewidmet*, S. 89–106. Springer, Wien, New York.
- BAUMGARTNER, PETER und S. PAYR (1999). *Lernen mit Software. Lernen mit interaktiven Medien*. StudienVerlag, Innsbruck, Wien, München, 2. Aufl.
- BECKMANN, VASILENA, M. LÜDMANN, J. WIESTEN und A. BOEGER (2018). *Implementation von Blended-Learning-Konzepten in Massenvorlesungen? Ein Erfahrungsbericht aus der psychologischen Lehrerbildung*. In: ACKEREN, ISABELL VAN, M. KERRES und S. HEINRICH, Hrsg.: *Flexibles Lernen mit digitalen Medien ermöglichen – Strategische Verankerung und Erprobungsfelder guter Praxis an der Universität Duisburg-Essen*, S. 57–65. Waxmann, Münster.

- BELLMAN, RICHARD ERNEST (1957). *Dynamic Programming*. Princeton University Press, Princeton, N. J.
- BENKERT, STEPHAN (2001a). *Kriterienkatalog zur (vergleichenden) Beurteilung multimedialer Lernsysteme – Erweiterte Prüfliste für Lernsysteme*. <http://www.benkert-rohlf.de/Promotion/EPL.pdf>. Abgerufen am 28. November 2020.
- BENKERT, STEPHAN (2001b). *Wissensvermittlung mit neuen Medien – Untersuchungen am Beispiel Niedrigenergie- und Solararchitektur*. Doktorarbeit, Universität Siegen.
- BEYEN, WOLFGANG (2003). *Von der handlungsorientierten zur konstruktivistischen Perspektive? – Überlegungen zur methodisch-konzeptionellen Gestaltung des Wirtschaftslehre-Unterrichts*. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 99(1):107–125.
- BIFFI, CORNELIA (2002). *Evaluation von Bildungssoftware im Spannungsfeld von Objektivität und praktischer Anwendung*. MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, 5:1–22. <https://doi.org/10.21240/mpaed/05/2002.05.08.X>. Abgerufen am 24. Juni 2020.
- BLOOM, BENJAMIN SAMUEL (1976). *Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich*. Beltz, Weinheim, 5. Aufl.
- BLUMSTENGEL, ASTRID (1998). *Entwicklung hypermedialer Lernsysteme*. Wissenschaftlicher Verlag Berlin, Berlin. (Zugleich Dissertation an der Universität Paderborn 1998).
- BONZ, BERNHARD (2009). *Methoden der Berufsbildung. Ein Lehrbuch*. Hirzel, Stuttgart, 2. neubearbeitete und ergänzte Aufl.
- BÖTTCHER, WOLFGANG, C. KERLEN, P. MAATS, O. SCHWAB und S. SHEIKH (2014). *Arbeitsfelder und Herausforderungen der Evaluation*. In: BÖTTCHER, WOLFGANG, C. KERLEN, P. MAATS, O. SCHWAB und S. SHEIKH, Hrsg.: *Evaluation in Deutschland und Österreich – Stand und Entwicklungsperspektiven in den Arbeitsfeldern der DeGEval – Gesellschaft für Evaluation*, S. 7–14. Waxmann, Münster.

- BRANDSTÄTTER, VERONIKA, J. SCHÜLER, R. M. PUCA und L. LOZO (2013). *Motivation und Emotion – Allgemeine Psychologie für Bachelor*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- BRANSFORD, JOHN D., R. D. SHERWOOD, T. S. HASSELBRING, C. K. KINZER und S. M. WILLIAMS (1990). *Anchored instruction – Why we need it and how technology can help*. In: NIX, DON H. und R. J. SPIRO, Hrsg.: *Cognition, education, and multimedia – Exploring ideas in high technology*, S. 115–141. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, N. J.
- BROWN, JOHN SEELY, A. COLLINS und P. DUGUID (1989). *Situated Cognition and the Culture of Learning*. Educational Researcher, 18(1):32–41.
- BRUNER, JEROME S. (1973). *Der Akt der Entdeckung*. In: NEBER, HEINZ, Hrsg.: *Entdeckendes Lernen*, S. 15–27. Beltz, Weinheim.
- BRUSBERG, HELMUT (1965). *Der Entwicklungsstand der Unternehmensforschung mit besonderer Berücksichtigung der Bundesrepublik Deutschland*. Steiner, Wiesbaden.
- CHARNES, ABRAHAM, W. W. COOPER und B. MELLON (1955). *A model for optimizing production by reference to cost surrogates*. Econometrica, 23(3):307–323.
- CTGV (1992). *The Jasper Experiment – An Exploration of Issues in Learning and Instructional Design*. Educational Technology Research and Development, 40(1):65–80.
- CTGV (1997). *The Jasper Project – Lessons in Curriculum, Instruction, Assessment and Professional Development*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, N. J.
- DAKIN, ROBERT J. (1965). *A tree-search algorithm for mixed integer programming problems*. The Computer Journal, 8(3):250–255.
- DANTZIG, GEORGE BERNARD (1949). *Programming of Interdependent Activities: II Mathematical Model*. Econometrica, 17(3/4):200–211.
- DANTZIG, GEORGE BERNARD (1991). *Linear Programming – The Story About How it Began*. In: LENSTRA, JAN KAREL, A. H. RINNOOY KAN

- und A. SCHRIJVER, Hrsg.: *History of Mathematical Programming – A Collection of Personal Reminiscences*, S. 19–31. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- DANTZIG, GEORGE BERNARD und M. N. THAPA (2003). *Linear Programming 2 – Theory and Extensions*. Springer, Berlin.
- DECI, EDWARD L. (1971). *Effects of externally mediated rewards on intrinsic motivation*. *Journal of Personality and Social Psychology*, 18(1):105–115.
- DEGEVAL (2016). *Standards für Evaluation. Erste Revision 2016*. https://www.degeval.org/fileadmin/Publikationen/DeGEval-Standards_fuer_Evaluation.pdf. Abgerufen am 23. November 2020.
- DESCY, PASCALINE und M. TESSARING (2006). *Der Wert des Lernens – Evaluation und Wirkung von Bildung und Ausbildung. Dritter Bericht zum aktuellen Stand der Berufsbildungsforschung in Europa – Synthesebericht*. Cedefop Reference series; 66. Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg.
- DIESTEL, REINHARD (2017). *Graphentheorie*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 5. Aufl.
- DIJKSTRA, EDSGER WYBE (1959). *A Note on Two Problems in Connexion with Graphs*. *Numerische Mathematik*, 1:269–271.
- DIKIN, ILYA I. (1967). *Iterative solution of problems of linear and quadratic programming*. *Soviet Mathematics Doklady*, 8:674–675.
- DIKIN, ILYA I. (1974). *On the speed of an iterative process*. *Upravlyaemye Sistemi*, 12:54–60.
- DOMSCHKE, WOLFGANG, A. DREXL, R. KLEIN und A. SCHOLL (2015). *Einführung in Operations Research*. Springer, Berlin, Heidelberg, 9. Aufl.
- DÖRING, KLAUS W. (1991). *Praxis der Weiterbildung: Analysen – Reflexionen – Konzepte*. Deutscher Studien Verlag, Weinheim.
- DÖRR, GÜNTER und P. STRITTMATTER (2002). *Multimedia aus pädagogischer Sicht*. In: ISSING, LUDWIG J. und P. KLIMSA, Hrsg.: *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*, S. 28–42. Beltz PVU, Weinheim, 3. vollständig überarbeitete Aufl.

- DUBS, ROLF (1995). *Konstruktivismus: Einige Überlegungen aus der Sicht der Unterrichtsgestaltung*. Zeitschrift für Pädagogik, 41(6):889–903.
- DUBS, ROLF (1997). *Schülerzentrierung im Unterricht: Vermutungen über einige Mißverständnisse*. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 93(4):337–342.
- DUFFY, THOMAS M. und D. H. JONASSEN (1992). *Constructivism and the Technology of Instruction – A Conversation*. Routledge, New York.
- EBNER, MARTIN, J. ZECHNER und A. HOLZINGER (2003). *Die Anwendung des 3-2-1 Modells didaktischer Elemente in der Hochschulpraxis*. In: KERRES, MICHAEL und B. VOSS, Hrsg.: *Digitaler Campus – Vom Medienprojekt zur nachhaltigen Mediennutzung auf dem Digitalen Campus*, Bd. 24 d. Reihe *Medien in der Wissenschaft*, S. 115–126. Waxmann, Münster, New York, München, Berlin.
- EDMONDS, JACK R. und R. M. KARP (1972). *Theoretical Improvements in Algorithmic Efficiency for Network Flow Problems*. Journal of the Association for Computing Machinery, 19(2):248–264.
- EHLERS, JAN P., C. GUETL, S. HÖNTZSCH, C. A. USENER und S. GRUTTMANN (2013). *Prüfen mit Computer und Internet. Didaktik, Methodik und Organisation von E-Assessment*. In: EBNER, MARTIN und S. SCHÖN, Hrsg.: *L3T. Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien*, S. 227–238. epubli, Berlin, 2. Aufl.
- EHLERS, ULF-DANIEL (2005). *Evaluation von E-Learning: Checklisten, Kriterienkataloge oder Evaluationskonzepte? Zum Stand der Bewertungsverfahren für E-Learning-Arrangements*. In: BACHMAIR, BEN, P. DIEPOLD und C. DE WITT, Hrsg.: *Jahrbuch Medienpädagogik 5 – Evaluation und Analyse*, S. 13–36. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- EILERS, BJÖRN, S. GRUTTMANN und H. KUCHEN (2008). *Konzeption eines integrierbaren Systems zur computergestützten Lernfortschrittskontrolle*. In: GROB, HEINZ LOTHAR, J. VOM BROCKE und C. BUDDENDICK, Hrsg.: *E-Learning-Management*, S. 213–232. Vahlen, München.

- ELLINGER, THEODER, G. BEUERMANN und R. LEISTEN (2001). *Operations Research – Eine Einführung*. Springer, Berlin, Heidelberg, 5. durchgesehene Aufl.
- ERLANG, AGNER KRARUP (1909). *The theory of probabilities and telephone conversations*. *Nyt Tidsskrift for Matematik B*, 20:33–39.
- EULER, DIETER (1992). *Didaktik des computerunterstützten Lernens – Praktische Gestaltung und theoretische Grundlagen*. Bd. 3 d. Reihe *Multimediales Lernen in der Berufsbildung*. BW Bildung und Wissen, Nürnberg.
- EULER, DIETER (1994). *(Multi)mediales Lernen – Theoretische Fundierungen und Forschungsstand*. *Unterrichtswissenschaft*, 22(4):291–311.
- FEW, STEPHEN (2006). *Information Dashboard Design – The Effective Visual Communication of Data*. O’Reilly Media, Inc., Sebastopol, CA.
- FLEUREN, HEIN, D. D. HERTOOG und P. KORT (2004). *Operations Research Proceedings 2004 – Selected Papers of the Annual International Conference of the German Operations Research Society (GOR) – Jointly Organized with the Netherlands Society for Operations Research (NGB), Tilburg, September 1-3, 2004*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- FLOYD, ROBERT W. (1962). *Algorithm 97 – Shortest Path*. *Communications of the ACM*, 5(6):345.
- FORD JR., LESTER RANDOLPH (1962). *Network Flow Theory*. Paper P-923, The RAND Corporation.
- FORD JR., LESTER RANDOLPH und D. R. FULKERSON (1956). *Maximal Flow Through a Network*. *Canadian Journal of Mathematics*, 8:399–404.
- FREUND, ROBERT M. (1991). *Polynomial-time algorithms for linear programming based only on primal scaling and projected gradients of potential functions*. *Mathematical Programming*, 51:203–222.
- FRICKE, REINER (2002). *Evaluation von Multimedia*. In: ISSING, LUDWIG J. und P. KLIMSA, Hrsg.: *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*, S. 445–463. Beltz PVU, Weinheim, 3. vollständig überarbeitete Aufl.

- GAGNÉ, ROBERT M., L. J. BRIGGS und W. W. WAGER (1992). *Principles of Instructional Design*. Harcourt Brace College Publishers, Fort Worth, 4. Aufl.
- GAL, TOMAS (HRSG.) (1987). *Grundlagen des Operations Research: 1. Einführung, Lineare Optimierung, Nichtlineare Optimierung, Optimierung bei mehrfacher Zielsetzung*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- GARCÍA-MARTÍNEZ, CARLOS, F. J. RODRIGUEZ und M. LOZANO (2018). *Genetic Algorithms*. In: MARTÍ, RAFAEL, P. M. PARDALOS und M. G. C. RESENDE, Hrsg.: *Handbook of Heuristics*, S. 431–464. Springer, Cham, Switzerland.
- GETTO, BARBARA und M. KERRES (2018). *Digitalisierung von Studium und Lehre: Wer, warum und wie?* In: ACKEREN, ISABELL VAN, M. KERRES und S. HEINRICH, Hrsg.: *Flexibles Lernen mit digitalen Medien ermöglichen – Strategische Verankerung und Erprobungsfelder guter Praxis an der Universität Duisburg-Essen*, S. 17–34. Waxmann, Münster.
- GLOVER, FRED W. und M. LAGUNA (1997). *Tabu Search*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- GOMORY, RALPH EDWARD (1958). *Outline of an Algorithm for Integer Solutions to Linear Programs*. Bulletin of the American Mathematical Society, 64(5):275–278.
- GOR E.V. (2006). *AG Logistik und Verkehr. Workshop zur Planung von großen Transportnetzen*. <https://core.ac.uk/download/pdf/196672091.pdf>. Abgerufen am 24. Juli 2020.
- GOR E.V. (2020). *Informationen zur GOR*. <https://www.gor-ev.de/die-gor/informationen-zur-gor>. Abgerufen am 20. Juli 2020.
- GOTTFRIED, CLEMENS, G. HAGER und W. SCHARL (2002). *KRITERIENKATALOG zur qualitativen Bewertung von Lernsoftware*. <http://www.scharl.at/papers/Kriterienkatalog-Lernsoftware.pdf>. Abgerufen am 24. November 2020.
- HAACK, JOHANNES (2002). *Interaktivität als Kennzeichen von Multimedia und Hypermedia*. In: ISSING, LUDWIG J. und P. KLIMSA, Hrsg.: *Information*

- und Lernen mit Multimedia und Internet*, S. 126–136. Beltz PVU, Weinheim, 3. vollständig überarbeitete Aufl.
- HARRIS, FORD WHITMAN (1913). *How many parts to make at once*. *Factory, the Magazine of Management*, 10(2):135–136, 152.
- HEIMANN, PAUL (1962). *Didaktik als Theorie und Lehre*. *Die deutsche Schule*, 54(9):407–427.
- HELMKE, ANDREAS und F.-W. SCHRADER (2006). *Hochschuldidaktik*. In: ROST, DETLEF H., Hrsg.: *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*, S. 246–252. Beltz PVU, Weinheim, 3. überarbeitete und erweiterte Aufl.
- HELMKE, ANDREAS und F.-W. SCHRADER (2008). *Determinanten der Schulleistung*. In: SCHWEER, MARTIN K. W., Hrsg.: *Lehrer-Schüler-Interaktion – Inhaltsfelder, Forschungsperspektiven und methodische Zugänge*, S. 285–302. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2. vollständig überarbeitete Aufl.
- HERTOG, DICK DEN und C. ROOS (1991). *A survey of search directions in interior point methods for linear programming*. *Mathematical Programming*, 52:481–509.
- HOFMANN, MARTIN und L. SIMON (1995). *Problemlösung Hypertext – Grundlagen, Entwicklung, Anwendung*. Hanser, München, Wien.
- HÖHNE, SEBASTIAN (2015a). *Behaviorismus – Lernpsychologie*. <http://www.lernpsychologie.net/lerntheorien/behaviorismus>. Abgerufen am 17. Februar 2016.
- HÖHNE, SEBASTIAN (2015b). *Kognitivismus – Lernpsychologie*. <http://www.lernpsychologie.net/lerntheorien/kognitivismus>. Abgerufen am 17. Februar 2016.
- HÖHNE, SEBASTIAN (2015c). *Konstruktivismus – Lernpsychologie*. <http://www.lernpsychologie.net/lerntheorien/konstruktivismus>. Abgerufen am 17. Februar 2016.
- HOIDN, SABINE (2010). *Lernkompetenzen an Hochschulen fördern*. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden. (Zugleich Dissertation an der Universität St. Gallen 2009).

- ISSING, LUDWIG J. (1987). *Medienpädagogik im Informationszeitalter*. Deutscher Studien Verlag, Weinheim.
- ISSING, LUDWIG J. und P. KLIMSA (2002). *Multimedia und Internet – Eine Chance für Information und Lernen*. In: ISSING, LUDWIG J. und P. KLIMSA, Hrsg.: *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*, S. 1–2. Beltz PVU, Weinheim, 3. vollständig überarbeitete Aufl.
- JANK, WERNER und H. MEYER (2011). *Didaktische Modelle*. Cornelsen, Berlin, 13. Aufl.
- KALLRATH, JOSEF (2013). *Gemischt-ganzzahlige Optimierung: Modellierung in der Praxis – Mit Fallstudien aus Chemie, Energiewirtschaft, Metallgewerbe, Produktion und Logistik*. Springer Spektrum, Wiesbaden, 2. überarbeitete und erweiterte Aufl.
- KARMAKAR, NARENDRA KRISHNA (1984). *A new polynomial time algorithm for linear programming*. *Combinatoria*, 4:373–395.
- KARMAKAR, NARENDRA KRISHNA (1988). *Riemannian geometry underlying interior-point methods for linear programming*. *AMS Contemporary Mathematics*, 114:51–75.
- KARUSH, WILLIAM (1939). *Minima of Functions of Several Variables with Inequalities as Side Conditions*. Master's thesis, Department of Mathematics, University of Chicago, Chicago.
- KELLER, JOHN M. und K. SUZUKI (1988). *Use of the ARCS model of motivational design*. In: JONASSEN, DAVID H., Hrsg.: *Instructional designs for microcomputer courseware*, S. 401–434. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, N. J.
- KERN, WERNER (1987). *Operations Research – Einführung und Überblick*. Poeschel, Stuttgart, 6. völlig überarb. und erw. Aufl.
- KERRES, MICHAEL (1999). *Didaktische Konzeption multimedialer und telemedialer Lernumgebungen*. *HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 36:9–21.
- KERRES, MICHAEL (2001). *Multimediale und telemediale Lernumgebungen – Konzeption und Entwicklung*. Oldenbourg, München, Wien, 2. vollständig überarbeitete Aufl.

- KERRES, MICHAEL (2002). *Online- und Präsenzelemente in hybriden Lernarrangements kombinieren*. In: HOHENSTEIN, ANDREAS und K. WILBERS, Hrsg.: *Handbuch E-Learning*. Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln. https://learninglab.uni-due.de/sites/default/files/kombi-hybridenLA_0.pdf. Abgerufen am 01. Juli 2020.
- KERRES, MICHAEL (2005). *Gestaltungsorientierte Mediendidaktik und ihr Verhältnis zur Allgemeinen Didaktik*. In: STADTFELD, PETER und B. DIECKMANN, Hrsg.: *Allgemeine Didaktik im Wandel*, S. 214–234. Klinckschmidt, Bad Heilbrunn.
- KERRES, MICHAEL (2008). *Mediendidaktik*. In: SANDER, UWE, F. GROSS und K.-U. HUGGER, Hrsg.: *Handbuch Medienpädagogik*, S. 116–122. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- KERRES, MICHAEL (2018). *Mediendidaktik – Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote*. De Gruyter Oldenbourg, Berlin, 5. Aufl.
- KERRES, MICHAEL und E. GORHAN (1999). *Status und Potentiale multimedialer und telemedialer Lernangebote in der betrieblichen Weiterbildung*. In: QUEM, Hrsg.: *Kompetenzentwicklung*, Bd. 4, S. 1–18. Carl-Auer, Münster.
- KERRES, MICHAEL und T. JECHLE (2002). *Didaktische Konzeption des Telearnens*. In: ISSING, LUDWIG J. und P. KLIMSA, Hrsg.: *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*, S. 266–281. Beltz PVU, Weinheim, 3. vollständig überarbeitete Aufl.
- KERRES, MICHAEL und M. KALZ (2003). *Mediendidaktik in der Lehrerbildung*. Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung, 21(3):410–421.
- KERRES, MICHAEL, C. DE WITT und J. STRATMANN (2002). *E-Learning. Didaktische Konzepte für erfolgreiches Lernen*. In: SCHWUCHOW, KARLHEINZ und J. GUTTMANN, Hrsg.: *Jahrbuch Personalentwicklung & Weiterbildung 2003*, S. 131–139. Luchterhand.
- KHACHIYAN, LEONID G. (1979). *A polynomial algorithm in linear programming*. Doklady Akademii Nauk SSSR, 244(5):1093–1096. Übersetzt in Soviet Mathematics Doklady 20:1 (1979), S. 191–194.

- KLAFKI, WOLFGANG (1997). *Die bildungstheoretische Didaktik im Rahmen kritisch-konstruktiver Erziehungswissenschaft. Oder: Zur Neufassung der Didaktischen Analyse*. In: GUDJONS, HERBERT und R. WINKEL, Hrsg.: *Didaktische Theorien*, S. 13–34. Bergmann und Helbig, 9. Aufl.
- KLEE, VICTOR und G. MINTY (1972). *How good is the simplex algorithm?* In: SHISHA, OVED, Hrsg.: *Inequalities III*, S. 159–175. Academic Press, New York.
- KLEIN, ROSEMARIE und G. REUTTER (2020). *Lernvoraussetzungen von Teilnehmenden – Es gilt, sie zu identifizieren und zu entwickeln*. <https://wb-web.de/wissen/lehren-lernen/lernvoraussetzungen.html>. Abgerufen am 28. März 2020.
- KNUTH, DONALD ERVIN (1997). *The Art of Computer Programming – Fundamental Algorithms*, Bd. 1. Addison Wesley Longman, Reading, 3. Aufl.
- KOOP, ANDREAS und H. MOOCK (2008). *Lineare Optimierung – Eine anwendungsorientierte Einführung in Operations Research*. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.
- KORBMACHER, KARLHEINZ (2000). *Evaluation von Lernsoftware auf der Basis von SODIS*. In: SCHENKEL, PETER, S.-O. TERGAN und A. LOTTMANN, Hrsg.: *Qualitätsbeurteilung multimedialer Lern- und Informationssysteme auf dem Prüfstand*, S. 190–216. BW Bildung und Wissen, Nürnberg.
- KRON, FRIEDRICH W., E. JÜRGENS und J. STANDOP (1996). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik*. Beltz, Weinheim, Basel, 5. Aufl.
- KRON, FRIEDRICH W., E. JÜRGENS und J. STANDOP (2014). *Grundwissen Didaktik*. Reinhardt, München, 6. Aufl.
- KRON, FRIEDRICH W. und A. SOFOS (2003). *Mediendidaktik – Neue Medien in Lehr- und Lernprozessen*. UTB, Stuttgart.
- KRONER, BERND und H. SCHAUER (1997). *Unterricht erfolgreich planen und durchführen – der Ratgeber aus der Praxis für die Praxis*. Aulis-Verlag Deubner, Köln.

- KUHLEN, RAINER (1991). *Hypertext – Ein nicht-lineares Medium zwischen Buch und Wissensbank*. Springer, Berlin Heidelberg.
- KUHN, HAROLD WILLIAM und A. W. TUCKER (1951). *Nonlinear Programming*. In: *Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, S. 481–492, Berkeley. University of California Press.
- KULHAVY, ERNEST (1963). *Operations Research – Die Stellung der Operationsforschung in der Betriebswirtschaftslehre*. Gabler, Wiesbaden.
- KÜPPER, WILLI, K. LÜDER und L. STREITFERDT (1975). *Netzplantechnik*. Physica, Würzburg, Wien.
- LAGUNA, MANUEL (2018). *Tabu Search*. In: MARTÍ, RAFAEL, P. M. PARDALOS und M. G. C. RESENDE, Hrsg.: *Handbook of Heuristics*, S. 741–758. Springer, Cham, Switzerland.
- LANDOW, GEORGE PAUL (1992). *Hypertext – The Convergence of Contemporary Critical Theory and Technology*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- LEUTNER, DETLEF (2002). *Adaptivität und Adaptierbarkeit multimedialer Lehr- und Informationssysteme*. In: ISSING, LUDWIG J. und P. KLIMSA, Hrsg.: *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*, S. 114–125. Beltz PVU, Weinheim, 3. vollständig überarbeitete Aufl.
- LIAW, SHU-SHENG und H.-M. HUANG (2013). *Perceived satisfaction, perceived usefulness and interactive learning environments as predictors to self-regulation in e-learning environments*. *Computers & Education*, 60(1):14–24.
- LITTGER, KURT (1992). *Optimierung – Eine Einführung in rechnergestützte Methoden*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- LOMPSCHER, JOACHIM (1976). *Verlaufsqualitäten der geistigen Tätigkeit*. Volk und Wissen, Berlin.
- LÓPEZ-IBÁÑEZ, MANUEL, T. STÜTZLE und M. DORIGO (2018). *Ant Colony Optimization: A Component-Wise Overview*. In: MARTÍ, RAFAEL, P. M. PARDALOS und M. G. C. RESENDE, Hrsg.: *Handbook of Heuristics*, S. 371–408. Springer, Cham, Switzerland.

- LOTZE, NETAYA (2018). *Zur sprachlichen Interaktion mit Chatbots — Eine linguistische Perspektive*. In: HUG, THEO und G. PALLAVER, Hrsg.: *Talk with the Bots – Gesprächsroboter und Social Bots im Diskurs*, S. 29–49. Innsbruck University Press, Innsbruck.
- LOVÁSZ, LÁSZLÓ (1980). *A new linear programming algorithm – better or worse than the Simplex Method?* *The Mathematical Intelligencer*, 2(3):141–146.
- MAGENHEIM, JOHANN S. (2004). *Wissensmanagement, Dekonstruktion und „Learning Communities“ in der Softwaretechnik – Didaktische Konzepte im BMBF-Projekt MuSoft*. In: RINN, DOROTHEE und M. M. ULRIKE, Hrsg.: *Didaktik und Neue Medien*, S. 255–269. Waxmann, Münster.
- MANDL, HEINZ (2004). *Gestaltung problemorientierter Lernumgebungen*. *Journal für Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 4(3):47–51.
- MANDL, HEINZ und H. F. FRIEDRICH (1992). *Lern- und Denkstrategien – Analyse und Intervention*. Hogrefe, Göttingen.
- MANDL, HEINZ, H. GRUBER und A. RENKL (2002). *Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen*. In: ISSING, LUDWIG J. und P. KLIMSA, Hrsg.: *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*, S. 138–148. Beltz PVU, Weinheim, 3. vollständig überarbeitete Aufl.
- MANSFELD, TANJA (2013). *Simulation – fach- und berufsdidaktische Innovationen in metall- und elektrotechnischen Domänen*. Doktorarbeit, Technische Universität Berlin.
- MARTÍ, RAFAEL, P. M. PARDALOS und M. G. C. RESENDE (2018). *Handbook of Heuristics*. Springer, Cham, Switzerland.
- MAXIMAL SOFTWARE, INC. (2020a). *CPLEX – Solver Descriptions*. <http://www.maximalsoftware.com/solvers/cplex.html>. Abgerufen am 12. August 2020.
- MAXIMAL SOFTWARE, INC. (2020b). *MOPS – Solver Descriptions*. <http://www.maximalsoftware.com/solvers/MOPS.html>. Abgerufen am 12. August 2020.

- MAXIMAL SOFTWARE, INC. (2020c). *XPRESS – Solver Descriptions*. <http://www.maximalsoftware.com/solvers/xpress.html>. Abgerufen am 12. August 2020.
- MAZZA, RICCARDO (2009). *Introduction to Information Visualization*. Springer, London.
- MEIER, ANNE (2000). *MEDA und AKAB: Zwei Kriterienkataloge auf dem Prüfstand*. In: SCHENKEL, PETER, S.-O. TERGAN und A. LOTTMANN, Hrsg.: *Qualitätsbeurteilung multimedialer Lern- und Informationssysteme auf dem Prüfstand*, S. 164–189. BW Bildung und Wissen, Nürnberg.
- MERRIËNBOER, JEROEN JOHANNES GEERTRUDES VAN und S. DIJKSTRA (1997). *The four-component instructional design model for training complex cognitive skills*. In: TENNYSON, ROBERT D., F. SCHOTT, N. M. SEEL und S. DIJKSTRA, Hrsg.: *Instructional design – International perspectives. Theory and research*, Bd. 1, S. 427–445. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, N. J.
- METZGER, CHRISTOPH und C. NÜESCH (2004). *Fair prüfen: ein Qualitätsleitfaden für Prüfende an Hochschulen*. In: EULER, DIETER und C. METZGER, Hrsg.: *Hochschuldidaktische Schriften, Band 6*. IWP, St. Gallen.
- MEYER, HILBERT (1994). *Unterrichtsmethoden – I: Theorieband*. Cornelsen Scriptor, Frankfurt a. M., 6. Aufl.
- MIELKE, ROSEMARIE (2001). *Psychologie des Lernens – eine Einführung*. Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln.
- MONTEIRO, RENATO D. C. und I. ADLER (1989). *Interior path-following primal-dual algorithm*. *Mathematical Programming*, 44:27–41.
- MOORE, EDWARD FORREST (1959). *The shortest path through a maze*. *The Annals of the Computation Laboratory of Harvard University*, 30:285–292.
- MÜLLER-MERBACH, HEINER (1966). *Drei neue Methoden zur Lösung des Travelling Salesman Problems*. *Ablauf- und Planungsforschung*, 7:32–46 und 78–91.
- MÜLLER-MERBACH, HEINER (1973). *Operations Research – Methoden und Modelle der Optimalplanung*. Vahlen, München, 3. Aufl.

- MÜLLER-MERBACH, HEINER (1981). *Heuristics and their design: a survey*. European Journal of Operational Research, 8(1):1–23.
- NEUMANN, ALEXANDER TOBIAS, T. ARNDT, L. KÖBIS, R. MEISSNER, A. MARTIN, P. DE LANGE, N. PENGEL, R. KLAMMA und H.-W. WOLLERSHEIM (2021). *Chatbots as a Tool to Scale Mentoring Processes: Individually Supporting Self-Study in Higher Education*. Frontiers in Artificial Intelligence, 4:64–71.
- NEUMANN, IRENE, C. PIGGE und A. HEINZE (2017). *Mathematische Lernvoraussetzungen für Mint-Studiengänge aus Sicht der Hochschulen – Eine empirische Studie mit Hochschullehrenden*. Mitteilungen der Deutschen Mathematiker-Vereinigung, 25(4):240–244.
- NEUMANN, KLAUS (1975). *Operations Research Verfahren – Band III – Graphentheorie, Netzplantechnik*. Hanser, München, Wien.
- NIEGEMANN, HELMUT M. (1995). *Computergestützte Instruktion in Schule, Aus- und Weiterbildung – Theoretische Grundlagen, empirische Befunde und Probleme der Entwicklung von Lehrprogrammen*. Peter Lang, Frankfurt a. M.
- NIEGEMANN, HELMUT M., S. DOMAGK, S. HESSEL, A. HEIN, M. HUPFER und A. ZOBEL (2008). *Kompendium multimediales Lernen*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- NIELSEN, JAKOB (1990). *Hypertext and Hypermedia*. Academic Press, Inc., London, San Diego.
- NOLTEMEIER, HARTMUT (1976). *Graphentheorie – mit Algorithmen und Anwendungen*. De Gruyter, Berlin.
- OECD (2020). *Youth and COVID-19: Response, Recovery and Resilience*. Technischer Bericht, OECD. https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=134_134356-ud5kox3g26&title=Youth-and-COVID-19-Response-Recovery-and-Resilience. Abgerufen am 29. September 2020.
- PAPERT, SEYMOUR A. (1980). *MINDSTORMS – Children, Computers, and Powerful Ideas*. Basic Books, Inc., New York.

- PARK, YEONJEONG und I.-H. JO (2015). *Development of the Learning Analytics Dashboard to Support Students' Learning Performance*. Journal of Universal Computer Science, 21(1):110–133.
- PAULI, PAUL, S. NEUDERTH und M. SCHUPPERT (2020). *Studieren in Coronazeiten*. Technischer Bericht, Universität Würzburg. <https://www.uni-wuerzburg.de/aktuelles/einblick/single/news/studieren-in-coronazeiten/>. Abgerufen am 29. September 2020.
- PEKRUN, REINHARD, T. GÖTZ, R. V. HOFER, W. BLUM, S. JULLIEN, A. ZIRNGIBL, M. KLEINE, S. WARTHA und A. JORDAN (2004). *Emotionen und Leistung im Fach Mathematik*. In: DOLL, JÖRG und M. PRENZEL, Hrsg.: *Bildungsqualität von Schule: Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung*, S. 345–363. Waxmann, Münster.
- PETERSSEN, WILHELM H. (2001). *Lehrbuch Allgemeine Didaktik*. Oldenbourg, München, 6. völlig veränderte, aktualisierte und stark erweiterte Aufl.
- PIAGET, JEAN (1975). *Nachahmung, Spiel und Traum. Die Entwicklung der Symbolfunktion beim Kinde*. Klett, Stuttgart.
- PIGGE, CHRISTOPH, I. NEUMANN und A. HEINZE (2017). *MaLeMINT – Mathematische Lernvoraussetzungen für MINT-Studiengänge — Eine Delphi-Studie mit Hochschullehrenden — Ergebnisüberblick*. Technischer Bericht, IPN — Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaft und Mathematik, Kiel. <https://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-mathematik/forschung-und-projekte/malemint/onlineveroeffentlichung>. Abgerufen am 20. April 2020.
- PREUSSLER, ANNABELL (2008). *Wir evaluieren uns zu Tode: Möglichkeiten und Grenzen der Bewertung von Online-Lernen. Eine Meta-Evaluation*. Doktorarbeit, FernUniversität Hagen.
- REICH, KERSTEN (1979). *Unterricht – Bedingungsanalyse und Entscheidungsfindung*. Klett-Cotta, Stuttgart.
- REICH, KERSTEN (2005). *Konstruktivistische Didaktik auf dem Weg, die Didaktik neu zu erfinden*. In: VOSS, REINHARD, Hrsg.: *LernLust und Ei-*

- genSinn – systemisch-konstruktivistische Lernwelten*, S. 179–190. Carl-Auer, Heidelberg.
- REIGELUTH, CHARLES M. (1999). *Instructional-design Theories and Models – A New Paradigm of Instructional Theory, Volume II*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, N. J.
- REINHART, JOACHIM und C. GREINER (2019). *Künstliche Intelligenz – eine Einführung. Grundlagen, Anwendungsbeispiele und Umsetzungsstrategien für Unternehmen*. <https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.34581.47842/1>. Abgerufen am 22. Oktober 2020.
- REINMANN, GABI und H. MANDL (2006). *Unterrichten und Lernumgebungen gestalten*. In: KRAPP, ANDREAS und W. BERND, Hrsg.: *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch*, S. 613–658. Beltz, Weinheim, Basel, 5. vollständig überarbeitete Aufl.
- REINMANN-ROTHMEIER, GABI (2003). *Didaktische Innovation durch Blended Learning – Leitlinien anhand eines Beispiels aus der Hochschule*. Huber, Bern.
- RESNICK, LAUREN B. (1987). *Task analysis in instructional design – Some cases from mathematics*. In: KLAHR, DAVID, Hrsg.: *Cognition and instruction*, S. 51–80. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, N. J.
- RUB (2020). *Lehre laden – Lernzieltaxonomien im Vergleich*. Autor*innenteam des Zentrums für Wissenschaftsdidaktik, Bereich Hochschuldidaktik, Ruhr Universität Bochum. <https://dbs-lin.ruhr-uni-bochum.de/lehreladen/planung-durchfuehrung-kompetenzorientierter-lehre/lehr-und-lernziele/lernzieltaxonomien-im-vergleich/?pdf=10>. Abgerufen am 28. März 2020.
- SCHADE, PHILIPP (2008). *Innere-Punkte-Verfahren mit Redundanzerkennung für die Quadratische Optimierung*. Gabler, Wiesbaden.
- SCHANK, ROGER CARL (1994). *Active learning through multimedia*. IEEE MultiMedia, 1(1):69–78.

- SCHENK, HARALD (1993). *Beurteilungskriterien für den Einsatz von Lernprogrammen in Unterricht und Weiterbildung*. In: SEIDEL, CHRISTOPH, Hrsg.: *Computer Based Training – Erfahrungen mit interaktivem Computerlernen*, S. 118–126. Verlag für Angewandte Psychologie, Göttingen.
- SCHNELL, RAINER, P. B. HILL und E. ESSER (1999). *Methoden der empirischen Sozialforschung*. Oldenbourg, München, 6. Aufl.
- SCHULMEISTER, ROLF (1996). *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme – Theorie – Didaktik – Design*. Addison-Wesley, Wokingham, Reading, Menlo Park, New York.
- SCHULMEISTER, ROLF (2000). *Didaktische Aspekte hypermedialer Lernsysteme*. In: KAMMERL, RUDOLF, Hrsg.: *Computerunterstütztes Lernen*, Hand- und Lehrbücher der Pädagogik, S. 40–52. Oldenbourg, München, Wien.
- SCHULMEISTER, ROLF (2003). *Lernplattformen für das virtuelle Lernen. Evaluation und Didaktik*. Oldenbourg, München.
- SCHULMEISTER, ROLF (2007). *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme – Theorie – Didaktik – Design*. Oldenbourg, München, 4. überarbeitete und aktualisierte Aufl.
- SCHWENDIMANN, BEAT A., M. J. RODRÍGUEZ-TRIANA, A. VOZNIUK, L. P. PRIETO, M. S. BOROUJENI, A. HOLZER, D. GILLET und P. DILLENBOURG (2017). *Perceiving Learning at a Glance: A Systematic Literature Review of Learning Dashboard Research*. IEEE Transactions on Learning Technologies, 10(1):30–41.
- SCHWETZ, HERBERT, M. ZEYRINGER und A. REITER (2001). *Problemorientiert lehren und lernen*. In: KOHLER, BRITTA, Hrsg.: *Konstruktives Lernen mit neuen Medien – Beiträge zu einer konstruktivistischen Mediendidaktik*, S. 100–118. StudienVerlag, Innsbruck.
- SILVER, EDWARD A., R. V. V. VIDAL und D. DE WERRA (1980). *A tutorial on heuristic methods*. European Journal of Operational Research, 5(3):153–162.
- SÖRENSEN, KENNETH, M. SEVAUX und F. GLOVER (2018). *A History of Metaheuristics*. In: MARTÍ, RAFAEL, P. M. PARDALOS und M. G. C. RE-

- SENDE, Hrsg.: *Handbook of Heuristics*, S. 791–808. Springer, Cham, Switzerland.
- SPINATH, BIRGIT (2005). *Akkuratheit der Einschätzung von Schülermerkmalen durch Lehrer und das Konstrukt der diagnostischen Kompetenz*. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 19(1–2):85–95.
- SPIRO, RAND J., R. L. COULSON, P. J. FELTOVICH und D. ANDERSON (1988). *Cognitive flexibility theory – Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains*. In: PATEL, V., Hrsg.: *10th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, S. 375–383. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, N. J.
- STAMMEN, KARL-HEINZ und A. EBERT (2020). *Noch online? Studierendenbefragung zur medientechnischen Ausstattung im Sommersemester 2020. Gesamtbericht. Ergebnisse der universitätsweiten UDE-Umfrage im Sommersemester 2020*. Technischer Bericht, Universität Duisburg-Essen. https://panel.uni-due.de/assets_websites/18/StammenEbert_2020_NochOnline_Gesamtbericht.pdf. Abgerufen am 28. September 2020.
- STEINHAUSEN, DETLEF (1994). *Simulationstechniken*. Oldenbourg, München.
- STIGLER, GEORGE JOSEPH (1945). *The cost of subsistence*. Journal of Farm Economics, 27(2):303–314.
- STREIM, HANNES (1975). *Heuristische Lösungsverfahren – Versuch einer Begriffsklärung*. Zeitschrift für Operations Research, 19:143–162.
- STRZEBKOWSKI, ROBERT (1997). *Realisierung von Interaktivität und multimedialen Präsentationstechniken*. In: ISSING, LUDWIG J. und P. KLIMSA, Hrsg.: *Information und Lernen mit Multimedia*, S. 269–304. Beltz PVU, Weinheim, Basel, 2. überarbeitete Aufl.
- STRZEBKOWSKI, ROBERT (2001). *Selbständiges Lernen mit Multimedia in der Berufsausbildung – Mediendidaktische Gestaltungsaspekte interaktiver Lernsysteme*. Doktorarbeit, Freie Universität Berlin.
- STRZEBKOWSKI, ROBERT und N. KLEEBOURG (2002). *Interaktivität und Präsentation als Komponenten multimedialer Lernanwendungen*. In: ISSING,

- LUDWIG J. und P. KLIMSA, Hrsg.: *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*, S. 228–245. Beltz PVU, Weinheim, 3. vollständig überarbeitete Aufl.
- SUHL, LEENA (2000). *Aktives Lernen mit hypermedialer Lernsoftware*. In: ALBACH, HORST und P. MERTENS, Hrsg.: *Hochschulorganisation und Hochschuldidaktik*, Bd. Ergänzungsheft 3 d. Reihe *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, S. 93–106. Betriebswirtschaftlicher Verlag Gabler, Wiesbaden.
- SUHL, LEENA und T. MELLOULI (2013). *Optimierungssysteme – Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen*. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 3. korrigierte und aktualisierte Aufl.
- SYDSÆTER, KNUT und P. J. HAMMOND (2009). *Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler – Basiswissen mit Praxisbezug*. Pearson Studium, München, 3. aktualisierte Aufl.
- TERGAN, SIGMAR-OLAF (2002). *Hypertext und Hypermedia: Konzeption, Lernmöglichkeiten, Lernprobleme und Perspektiven*. In: ISSING, LUDWIG J. und P. KLIMSA, Hrsg.: *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*, S. 98–112. Beltz PVU, Weinheim, 3. vollständig überarbeitete Aufl.
- TERHART, EWALD (1999). *Konstruktivismus und Unterricht. Gibt es einen neuen Ansatz in der Allgemeinen Didaktik?* *Zeitschrift für Pädagogik*, 45(5):629–647.
- THOMÉ, DOROTHEA (1989). *Kriterien zur Bewertung von Lernsoftware: mit einer exemplarischen Beurteilung von Deutsch-Lernprogrammen*. Hüthig, Heidelberg.
- TOMLINSON, ROLFE CARTWRIGHT (1971). *OR Comes of Age: A Review of the Work of the Operational Research Branch of the National Coal Board, 1948-1969*. Tavistock Publications, London.
- TRAUS, ANNA, K. HÖFFKEN, S. THOMAS, K. MANGOLD und W. SCHRÖER (2020). *Stu.di.Co. – Studieren digital in Zeiten von Corona*. Technischer Bericht, Universitätsverlag Hildesheim, Hildesheim. <https://dx.doi.org/10.18442/150>. Abgerufen am 24. September 2020.

- TREFETHEN, FLORENCE NEWMAN (1954). *A history of Operations Research*. In: MCCLOSKEY, JOSEPH F. und F. N. TREFETHEN, Hrsg.: *Operations Research for Management*, S. 3–35. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- TULODZIECKI, GERHARD (1997). *Medien in Erziehung und Bildung. Grundlagen und Beispiele einer handlungs- und entwicklungsorientierten Medienpädagogik*. Klinkhardt, Bad Heilbrunn, 3. Aufl.
- TULODZIECKI, GERHARD (2002). *Mediendidaktik*. In: LEONHARD, JOACHIM-FELIX, H.-W. LUDWIG, D. SCHWARZE und E. STRASSNER, Hrsg.: *Medienwissenschaft. Ein Handbuch zur Entwicklung der Medien und Kommunikationsformen*, S. 2807–2819. De Gruyter, Berlin.
- UNIVERSITÄT GÖTTINGEN (2020). *Ausgewählte Ergebnisse der Studierendenbefragung zu den Voraussetzungen für digitale Lehre im SoSe 2020 im Auftrag der virtuellen AG Studium und Lehre. Grunddaten – Fragen zu techn. Voraussetzungen – Fragen zu Online-Lehre -Lernen -Prüfungen -Kommunikation*. Technischer Bericht, Georg-August-Universität Göttingen. Abteilung Studium und Lehre. Bereich Qualitätsmanagement. https://www.uni-goettingen.de/de/document/download/1bb010ea661fda93bc4cc62bfc5442e3.pdf/20200604_studierendenbefragungSoSe2020_Voraussetzungenf%C3%BCrAG.pdf. Abgerufen am 28. September 2020.
- VARELA, FRANCISCO J., H. R. MATURANA und R. URIBE (1974). *Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization and a model*. *Biosystems*, 5(4):187–196.
- VERBERT, KATRIEN, E. DUVAL, J. KLERKX, S. GOVAERTS und J. L. SANTOS (2013). *Learning Analytics Dashboard Applications*. *American Behavioral Scientist*, 57(10):1500–1509.
- WARSHALL, STEPHEN (1962). *A Theorem on Boolean Matrices*. *Journal of the ACM*, 9(1):11–12.
- WASSERZIEHER, ERNST (1974). *Woher? Ableitendes Wörterbuch der deutschen Sprache*. Dümmler, Bonn, 18. Aufl.

- WATSON, JOHN BROADUS (1913). *Psychology as the Behaviorist Views it*. Ardent Media, New York.
- WEIDENMANN, BERND (2002a). *Abbilder in Multimediaanwendungen*. In: ISSING, LUDWIG J. und P. KLIMSA, Hrsg.: *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*, S. 82–96. Beltz PVU, Weinheim, 3. vollständig überarbeitete Aufl.
- WEIDENMANN, BERND (2002b). *Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess*. In: ISSING, LUDWIG J. und P. KLIMSA, Hrsg.: *Information und Lernen mit Multimedia und Internet*, S. 44–62. Beltz PVU, Weinheim, 3. vollständig überarbeitete Aufl.
- WEIDENMANN, BERND, A. KRAPP, M. HOFER, G. HUBER und H. MANDL (1993). *Pädagogische Psychologie*. Beltz PVU, Weinheim, Basel, 3. Aufl.
- WEINERT, FRANZ E. (2002). *Leistungsmessungen in Schulen*. Beltz, Weinheim, Basel, 2. unveränderte Aufl.
- WERNER, MATTHIAS (2012). *Algorithmen und Programmierung – Skript zur Vorlesung*. Technische Universität Chemnitz. https://osg.informatik.tu-chemnitz.de/lehre/aup/old/2011_Winter/AuP-script.pdf. Abgerufen am 31. März 2020.
- WERNERS, BRIGITTE (2013). *Grundlagen des Operations Research – Mit Aufgaben und Lösungen*. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 3. überarbeitete Aufl.
- WERNERS, BRIGITTE und R. GABRIEL (1994). *Operations Research, Reflexionen aus Theorie und Praxis. Festschrift zum 60. Geburtstag von Hans-Jürgen Zimmermann*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- WESSLER, MARKUS (2010). *Operations Research – Grundlagen und praktische Anwendungen*. Expert, Renningen.
- WIESCH, HELGE SCHULZ ZUR (2013). *Unterricht planen mit System. Didaktische Bausteine für den handlungsorientierten Unterricht. Mit vielen Hinweisen zur inklusiven Förderung*. verlag modernes lernen, Dortmund.

- WILD, ELKE, M. HOFER und R. PEKRUN (2006). *Psychologie des Lerners*. In: KRAPP, ANDREAS und B. WEIDENMANN, Hrsg.: *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch*, S. 203–268. PVU, Weinheim, 5. vollständig überarbeitete Aufl.
- WINTHER, ESTHER und F. ACHTENHAGEN (2008). *Personale traits und selbstregulative states zur Beschreibung von Unterrichtsprozessen*. *Unterrichtswissenschaft*, 36(3):255–280.
- WITT, CLAUDIA DE (2020). *KI in der Hochschulbildung — Status Quo und Zukunftsperspektiven*. <https://www.fernuni-hagen.de/universitaet/newsletter/berichte/fernuni-news-60-ki-in-hochschulbildung-symposium.shtml>. Abgerufen am 22. Oktober 2020.
- WITT, CLAUDIA DE und T. CZERWIONKA (2013). *Mediendidaktik*. WBV, Bielefeld, 2. Aufl.
- WODNIOK, SABINA und J. BOENIGK (2018). *Unterstützung des individuellen Lernens – Selbstlernphasen durch E-Learning-Elemente neu gestalten in der Vorlesung „Einführung in die Botanik“*. In: ACKEREN, ISABELL VAN, M. KERRES und S. HEINRICH, Hrsg.: *Flexibles Lernen mit digitalen Medien ermöglichen – Strategische Verankerung und Erprobungsfelder guter Praxis an der Universität Duisburg-Essen*, S. 483–489. Waxmann, Münster.
- WOLFE, PHILIP (1959). *The Simplex Method for Quadratic Programming*. *Econometrica*, 27(3):382–398.
- WOTTAWA, HEINRICH und H. THIERAU (1990). *Lehrbuch Evaluation*. Huber, Bern, Stuttgart, Toronto.
- ZIMMER, GERHARD und E. PSARALIDIS (2000). *„Der Lernerfolg bestimmt die Qualität einer Lernsoftware!“*. *Evaluation von Lernerfolg als logische Rekonstruktion von Handlungen*. In: SCHENKEL, PETER, S.-O. TERGAN und A. LOTTMANN, Hrsg.: *Qualitätsbeurteilung multimedialer Lern- und Informationssysteme. Evaluationsmethoden auf dem Prüfstand*, S. 262–303. BW Bildung und Wissen, Nürnberg.

ZIMMERMANN, HANS-JÜRGEN (1982). *Trends and new Approaches in European Operational Research*. Journal of the Operational Research Society, 33:253–285.

ZIMMERMANN, HANS-JÜRGEN (2008). *Operations Research – Methoden und Modelle. Für Wirtschaftsingenieure, Betriebswirte und Informatiker*. Vieweg, Wiesbaden, 2. Aufl.