

Tobias Hofmann

eFATHOM

Entwicklung und Evaluation einer multimedialen Lernumgebung für einen selbstständigen Einstieg in die Werkzeugsoftware FATHOM

RESEARCH



Springer Spektrum

Studien zur Hochschuldidaktik und zum Lehren und Lernen mit digitalen Medien in der Mathematik und in der Statistik

Herausgegeben von

R. Biehler, Paderborn, Deutschland

Fachbezogene Hochschuldidaktik und das Lehren und Lernen mit digitalen Medien in der Schule, Hochschule und in der Mathematiklehrerbildung sind in ihrer Bedeutung wachsende Felder mathematikdidaktischer Forschung.

Mathematik und Statistik spielt in zahlreichen Studienfächern eine wesentliche Rolle. Hier stellen sich zahlreiche didaktische Herausforderungen und Forschungsfragen, ebenso wie im Mathematikstudium im engeren Sinne und im Mathematikstudium aller Lehrämter. Digitale Medien wie Lern- und Kommunikationsplattformen, multimediale Lehrmaterialien und Werkzeugsoftware (Computeralgebrasysteme, Tabellenkalkulation, dynamische Geometriesoftware, Statistikprogramme) ermöglichen neue Lehr- und Lernformen in der Schule und in der Hochschule.

Die Reihe ist offen für Forschungsarbeiten, insbesondere Dissertationen und Habilitationen, aus diesen Gebieten.

Herausgegeben von

Prof. Dr. Rolf Biehler

Institut für Mathematik, Universität Paderborn, Deutschland

Tobias Hofmann

eFATHOM

Entwicklung und Evaluation einer
multimedialen Lernumgebung
für einen selbstständigen Einstieg
in die Werkzeugsoftware FATHOM

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Rolf Biehler



Springer Spektrum

RESEARCH

Tobias Hofmann
Universität Kassel, Deutschland

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) im Fachbereich Mathematik und Naturwissenschaften der Universität Kassel

Tag der Disputation: 01. November 2011

ISBN 978-3-8348-2418-9
DOI 10.1007/978-3-8348-2419-6

ISBN 978-3-8348-2419-6 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden 2012

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Einbandentwurf: Künkellopka GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Spektrum ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-spektrum.de

Geleitwort

Mit der Dissertation von Tobias Hofmann wird die neue Schriftenreihe „*Studien zur Hochschuldidaktik und zum Lehren und Lernen mit digitalen Medien in der Mathematik und in der Statistik*“ eröffnet.

Gegenstand der Arbeit ist die theoriegestützte Entwicklung einer multimedialen Lernumgebung, genannt eFATHOM, zur Unterstützung des Erlernens der Stochastiksoftware FATHOM, sowie deren Evaluation in Studien mit unterschiedlichen Nutzergruppen von Schülern und Studierenden.

Das von Hofmann entwickelte Produkt eFATHOM erfreut sich praktischer Beliebtheit. Es ist bereits Teil des von Schroedel-Schulbuch-Verlag vertriebenen Unterrichtsmaterials für die Sekundarstufen (Biehler et al., 2011). Es ist auch online unter <http://efathom.math.uni-paderborn.de/> für jedermann verfügbar und wird von zahlreichen Studierenden und Schülern genutzt.

Die vorliegende Arbeit stellt die theoretischen Grundlagen für das Design und Konzepte und Ergebnisse von Evaluationsstudien zu eFATHOM vor.

Die Arbeit ist keineswegs nur für diejenigen interessant, die sich praktisch oder wissenschaftlich damit befassen, wie man Stochastik mit digitalen Medien unterrichten kann, sondern auch für alle diejenigen, die sich damit beschäftigen, wie man multimediale Lernumgebungen entwickeln und evaluieren kann, die Lernende in komplexe Werkzeugsoftware, seien es Computeralgebrasysteme, Dynamische Geometrieprogramme oder Tabellenkalkulationsprogramme gezielt so problemorientiert einführen, dass die Lernenden anschließend die Software zur Problemlösung einsetzen können. Es geht also nicht um ein einfaches Bedienen, sondern um die Aneignung eines Instruments. Dass es sich hierbei um einen komplexen Prozess handelt, der geeignet unterstützt werden muss, wird in der Mathematikdidaktik unter dem Stichwort „Instrumentelle Genese“ erforscht (vgl. z. B. Trouche, 2004). Damit ist der Prozess gemeint, in dem sich ein Lernender ein Programm im Hinblick auf die Bearbeitung bestimmter Problemklassen aneignet und darin Routine gewinnt. Die Arbeit von Herrn Hofmann ist ein Beitrag dazu, wie man solche Prozesse der instrumentellen Genese unterstützen kann.

Beim Lehren und Lernen von Mathematik spielen digitale Medien eine zunehmende Rolle. In der Arbeit von Tobias Hofmann werden diese auf zwei Ebenen thematisiert. Zum einen geht es um den Einsatz von multimedialen Lernumgebungen, zum anderen geht es um die Werkzeugsoftware FATHOM. FATHOM ist eine Werkzeugsoftware, die gezielt zur Benutzung an Schulen und Hochschulen entwickelt wurde, um das Lernen und das Betreiben von Stochastik gleichzeitig zu unterstützen. In meiner Arbeitsgruppe wurde die in den USA von Stochastikdidaktikern, Stochastikern und Softwareexperten entwickelte Software für deutsche Schulen und Universitäten adaptiert (Biehler et al., 2006). Die Software selber erfüllt schon weitgehend die Ansprüche, die in der Stochastikdidaktik formuliert werden (Biehler, 1997; Biehler et al., 2012). Durch

ergonomisches Design werden die Prozesse der Explorativen Datenanalyse und der stochastischen Simulation Lernenden neu und elementar zugänglich. Ferner erlaubt es die Software, interaktive Arbeitsblätter zu definieren und zu modifizieren, so dass Lernende mit statistischen Methoden und Graphiken selber experimentieren können und so visuelles und experimentelles Lernen unterstützt werden kann. Der Prozess der instrumentellen Genese kann aber erheblich beschleunigt und zielgerichteter erfolgen, wenn man eFATHOM einsetzt. Das zeigen die Studien von Herrn Hofmann überzeugend.

Die Arbeit von Tobias Hofmann ist bemerkenswert. Er setzt sich zunächst intensiv mit der Software FATHOM und ihrer Nutzungsmöglichkeiten für das Lernen und Anwenden von Stochastik auseinander, sowie den dabei auftretenden Schwierigkeiten für die Lernenden. Die vorliegenden Studien zur Entwicklung von FATHOM -Kompetenzen in Verbindung mit Kompetenzaufbau in der Stochastik werden präzise ausgewertet im Hinblick auf die Lokalisierung von Schwierigkeitsbereichen, an denen eine Unterstützung ansetzen muss. Das betrifft u.a. das besondere drag-and-drop-handling, das FATHOM erfordert, die Besonderheiten beim Umgang mit Formeln sowie die zu entwickelnden FATHOM-Kompetenzen bei der Verwendung zum stochastischen Simulieren. Dabei konnte er auf der theoretischen Werkzeuganalyse von Carmen Maxara (2009) und auf der Studie von Thorsten Meyfarth (2006, 2008) zum unterrichtlichen Einsatz von FATHOM aufbauen. Er entwickelt dabei aber bewährte Mittel wie den Simulationsplan wesentlich weiter, um Lernende noch besser beim Simulieren zu unterstützen.

Eine multimediale Lernumgebung ist aber ein völlig anderer Softwaretyp, der eigenen Gestaltungskriterien genügt. Hierzu greift Hofmann auf die Cognitive Load Theory und die Kognitive Theorie Multimedialen Lernens von Mayer zurück, die er kreativ und originell auf die Gestaltung von eFATHOM anwendet. In bemerkenswerter Klarheit und Detailliertheit werden die Designentscheidungen für eFATHOM auf den verschiedenen Ebenen dargelegt und theoretisch begründet. Man findet in der Literatur selten eine solch ausführliche Darstellung, die ein praktisches Design theoretisch differenziert durchleuchtet und so einer wissenschaftlichen Diskussion zugänglich macht. Dabei ist die Darstellung selber schon eine große Herausforderung. Durch die Unterscheidung von Mikro- und Makro-Design und die des inhaltlich-mathematikdidaktischen Designs werden hier allgemein anwendbare Kategorien eingeführt.

Abschließend stellt Hofmann die verschiedenen von ihm durchgeführten Nutzungs- und Akzeptanzstudien vor, die zum Teil für eine formative Evaluation zur Produktverbesserung verwendet wurden, zum Teil als zunächst abschließende summative Evaluation angelegt sind. Sowohl die Anlage der Studien wie die Methoden der Auswertung sind auch für Leser interessant, die sich mit der mathematikdidaktischen Evaluation von multimedialen Lernumgebungen beschäftigen wollen.

Insgesamt liegt hier eine sehr gut lesbare und interdisziplinär ausgerichtete Studie vor, in der konstruktive Entwicklungsforschung in der Mathematikdidaktik auf vielseitiger theoretischer und empirischer Grundlage betrieben wird.

Prof. Dr. Rolf Biehler

Vorwort

In der vorliegenden Arbeit beschreibe ich die im Rahmen meines Promotionsvorhabens von mir durchgeführte theoriegestützte Entwicklung einer multimedialen Lernumgebung und deren zielgerichteter Evaluation bezüglich Fragen nach Umgangsschwierigkeiten, der Handhabung, der Akzeptanz und des Lernerfolgs. Bei der Umsetzung dieses umfangreichen Vorhabens konnte ich auf tatkräftige Unterstützung von unterschiedlichen Seiten bauen.

Ich möchte all jenen von ganzem Herzen danken, die mich beim Entwickeln der Lernumgebung, bei der Durchführung und Auswertung der Studien und beim Verfassen der vorliegenden Arbeit unterstützt haben. Insbesondere danke ich meinem Betreuer Herrn Prof. Dr. Rolf Biehler für die gute Zusammenarbeit, die stete Begleitung meiner Arbeit und die wertvollen Hinweise.

Ferner danke ich Frau Dr. Carmen Maxara, Herrn Dr. Andreas Prömmel, Herrn Dr. Thorsten Meyfarth, Herrn Prof. Dr. Dominik Leiß und Frau Susanne Podworny für ihre konstruktiven Diskussionen, Ratschläge und ihre Unterstützung.

Nicht zuletzt danke ich meiner Familie für die Unterstützung im privaten Bereich.

Tobias Hofmann

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
I THEORETISCHE GRUNDLAGEN	7
1 Die stochastische Werkzeugsoftware FATHOM	7
1.1 Erlernen von FATHOM	8
1.1.1 Vorhandenes Lernmaterial für FATHOM.....	8
1.1.2 Geeignetes Lernmaterial für FATHOM-Neulinge.....	13
1.2 Simulieren mit FATHOM	17
1.2.1 Simulationsarten	18
1.2.2 Simulationshilfen.....	28
1.3 FATHOM-Kompetenzen	30
1.3.1 Allgemeine FATHOM-Kompetenz	30
1.3.2 Formelkompetenz.....	31
1.3.3 Simulationskompetenz.....	31
1.3.4 Strategische und generalisierende Kompetenzen	32
2 Erlernen einer Werkzeugsoftware	33
2.1 Online-/Offline-Dokumentationen.....	33
2.2 Minimalistische Instruktion.....	35
2.2.1 Was ist Minimalismus?.....	36
2.2.2 Prinzipien des Minimalismus.....	36
2.2.3 Berücksichtigung des Minimalismus in eFATHOM.....	38
3 Theoretische Modelle des Wissenserwerbs mit digitalen Medien	41
3.1 Die Cognitive Load Theorie (CLT)	42
3.1.1 Gedächtnispsychologische Grundlagen.....	42
3.1.2 Arten der kognitiven Belastung	43
3.1.3 Folgerung für die didaktische Gestaltung	44
3.1.4 Berücksichtigung der CLT in eFATHOM	50
3.2 Kognitive Theorie Multimedialen Lernens (CTML)	52
3.2.1 Theoretische Grundannahmen	52
3.2.2 Hauptaspekte des Modells	53
3.2.3 Gestaltungs-Prinzipien für multimediales Lernen	55
3.2.4 Berücksichtigung der CTML in eFATHOM.....	59

II	DIE ENTWICKELTE MULTIMEDIALE LERNUMGEBUNG eFATHOM.....	63
4	Überblick über eFATHOM	63
4.1	Einführung in die Datenanalyse	63
4.1.1	Vermittelte Kompetenzen	63
4.1.2	Nicht behandelte Inhalte in Bezug auf die Datenanalyse	65
4.2	Einführung in die Simulation	65
4.2.1	Vermittelte Kompetenzen	65
4.2.2	Nicht behandelte Inhalte im Bezug auf die Simulation	66
5	Die Lerninhalte von eFATHOM	67
5.1	Modul 1 – Die erste statistische Auswertung	67
5.1.1	FATHOM-Kompetenzen.....	67
5.1.2	Stochastische Inhalte	70
5.2	Modul 2 – Weitere Auswertungsmethoden	71
5.2.1	FATHOM-Kompetenzen.....	72
5.2.2	Stochastische Inhalte	75
5.3	Modul 3 – Einfach Simulieren	76
5.3.1	FATHOM-Kompetenzen.....	77
5.3.2	Stochastische Inhalte.....	78
5.4	Modul 4 – Simulationen mit Urnen	80
5.4.1	FATHOM-Kompetenzen.....	82
5.4.2	Stochastische Inhalte.....	87
6	Das Makro-Design von eFATHOM	89
6.1	Die Struktur von eFATHOM.....	89
6.2	Die Lernelemente	90
6.2.1	Lernelement <i>Einführung</i>	90
6.2.2	Lernelement <i>Praxis</i>	93
6.2.3	Lernelement <i>Wissen</i>	96
6.2.4	Lernelement <i>Aufgaben & Anwendungen</i>	100
6.2.5	Lernelement <i>Check-up</i>	106
7	Weiterentwicklung des Simulationsplans	111
7.1	Das Simulationsschema	111
7.1.1	Grenzen des Simulationsschemas.....	115
7.2	Der graphische Simulationsplan.....	116
7.2.1	Die Ebenen des graphischen Simulationsplans.....	118
7.2.2	Die Schritte des graphischen Simulationsplans	120
7.2.3	Vorstellung des graphischen Simulationsplans in eFATHOM.....	123

8	Ausgewählte Prinzipien des Mikro-Designs	125
8.1	Paralleles Arbeiten:	125
8.2	Video-tutorielle Einführung	128
8.3	Wenig Text	130
8.4	Ansprechendes Layout	131
8.5	Intuitive Bedienung	133
III EMPIRISCHE UNTERSUCHUNGEN		137
9	Das Untersuchungsdesign	137
9.1	Evaluationstypen	137
9.1.1	Formative Evaluation	137
9.1.2	Summative Evaluation	138
9.2	Evaluation von eFATHOM	139
9.2.1	Leitfragen der Evaluation	139
10	Übersicht über die durchgeführten Studien	141
10.1	Tabellarischer Überblick über die Studien	141
10.2	Historische Verortung der Studien in der Entwicklungszeit von eFATHOM	142
11	Studie 1 – Formative Evaluation der Module 1 und 2	149
11.1	Das Untersuchungsdesign	149
11.2	Ergebnisse und Folgerungen	151
11.2.1	Schwierigkeiten im Umgang mit eFATHOM	151
11.2.2	Bearbeitungszeit der Einführungsmodule	154
11.2.3	Akzeptanz des Designkonzeptes von eFATHOM	155
11.2.4	Akzeptanz der Lerninhalte in den Lernelementen	160
12	Studie 2 – Evaluation von Modul 3 & Erhebung von Simulationskompetenzen	169
12.1	Das Untersuchungsdesign	169
12.2	Computernutzung	171
12.3	Teilstudie 2a – Formative Evaluation von Modul 3	171
12.3.1	Bearbeitungszeit von Modul 3	172
12.3.2	Navigationsverhalten	173
12.3.3	Arbeit mit den Tutorial-Videos	174
12.3.4	Bearbeitung der Simulationsaufgaben	180
12.3.5	Vermittelte FATHOM-Kompetenzen durch Tutorial-Videos	206
12.3.6	Abschlussbemerkung zu Teilstudie 2a	209
12.4	Teilstudie 2b – Lernstandserhebung von Simulationskompetenzen	209
12.4.1	Analyse der Testaufgabe	210
12.4.2	Auswertung des Datenmaterials	213

13	Ausgewählte Aspekte aus weiteren Studien	221
13.1	Studie 3 – Evaluation aller Module & qualitative Akzeptanzstudie	221
13.1.1	Untersuchungsdesign	221
13.1.2	Teilstudie 3a – Formative Evaluation aller Module.....	223
13.1.3	Teilstudie 3b – Akzeptanzstudie von eFATHOM	227
13.2	Studie 4 – Experimentelle Feldstudie: eFATHOM vs. Printanleitung.....	234
13.2.1	Untersuchungsdesign	234
13.2.2	Analyse der Testaufgabe	235
13.2.3	Vorgehen bei der Auswertung	239
13.2.4	Ergebnisse aus der Vergleichsstudie	240
13.3	Studie 5 – Akzeptanzstudie von eFATHOM (2).....	245
13.3.1	Untersuchungsdesign	246
13.3.2	Auswertung des Fragebogens.....	247
13.4	Web-Studie mit Hilfe eines Analysewerkzeugs.....	261
13.4.1	Erhebungszeitraum und Datenauswahl	262
13.4.2	Begutachtete Variablen.....	262
14	Zusammenfassung und Ausblick.....	271
14.1	Erkenntnisse aus den durchgeführten Studien	271
14.1.1	Schwierigkeiten mit eFATHOM	271
14.1.2	Arbeitsweise mit eFATHOM	272
14.1.3	Akzeptanz von eFATHOM.....	276
14.1.4	Durch eFATHOM vermittelte Kompetenzen	277
14.2	Ausblick.....	278
	Literaturverzeichnis	281

Einleitung

eFATHOM – so heißt die multimediale Lernumgebung, die ich im Rahmen meines Promotionsvorhabens entwickelt und evaluiert habe. Sie soll für FATHOM-Neulinge eine Möglichkeit bieten, sich auf einfache Weise in die dynamische Stochastik- und Datenanalysesoftware FATHOM einzuarbeiten.

Maditas¹ erster Eindruck über eFATHOM:

„Also ich hab das vorher noch nicht gemacht. [...] Ich vergleiche das immer mit Bedienungsanleitungen. Aber so klassische, wo man dann so durchblättern muss und alles lesen muss. Und ähm, nicht dieses, ich sag mal bunte und dieses bildhafte hat. [...] Und das [eFATHOM] ist hier gar nicht so. Ich hab am Anfang gedacht, hoffentlich wird das nicht so. [...] Aber dann hab ich das ja hier einmal gemacht und ich könnte mir das durchaus auch für, für andere Programme in der Schule vorstellen. Einfach weil's, weil's mir keine Schwierigkeiten bereitet, da mich [...] durchzufinden. Weil's einfach leicht ist, da linear unten zu folgen – sich die Videos anzugucken und die Graphiken. Und dann das ja, nach Bedarf umsetzen zu können, wenn man möchte. Und das gefällt mir ganz gut.“

Der eFATHOM unkundige Leser wird vermutlich nicht verstanden haben, wie er sich jetzt diese Lernumgebung vorzustellen hat, wohl aber, dass Madita von ihr begeistert zu sein scheint. Den neugierig gewordenen sei empfohlen, sich selbst ein Bild von eFATHOM zu machen. Die Lernumgebung ist nach Registrierung unter folgenden URLs frei aufrufbar²:

www.mathematik.uni-kassel.de/~luf

efathom.math.uni-paderborn.de

Ferner ist eFATHOM Teil des von Schroedel vertriebenen Print- & Software-Paketes (Biehler et al., 2001a, 2001b), bestehend aus der Software FATHOM und einem Praxishft für den Schuleinsatz von FATHOM.

Ausgangspunkt der Arbeit

Schauen wir uns Kurse, Lernumgebungen oder Lehrbücher (offline wie online) zur Einführung in die Stochastik an, so können wir beim Einsatz von unterstützenden Computerwerkzeugen verschiedene Techniken unterscheiden (vgl. Biehler & Hofmann, 2011). Einige Kurse arbeiten mit Applets, die meist jedes für sich interaktive Experimente, Visualisierungen oder Simulationen zeigen. Zu nennen wären beispielsweise MaDiN (Eichler, 2004) oder EMILeA-stat (Cramer et al., 2004).

Andere Kurse arbeiten mit Techniken, die ein Datenanalyse-Tool integriert haben, das verschiedene Möglichkeiten der Datenauswertung und Aufbereitung bereitstellt. Bei-

1 Probandin aus Studie 3 (siehe Abschnitt 13.1). Der Name wurde geändert.

2 Stand: Juli 2011

spiele wären etwa Medass-Light (Biehler & Schweynoch, 1999) oder „Training“ (Sedlmeyer & Köhlers, 2001). Die Lernenden benutzen das Werkzeug parallel zum Kurs, um etwa Daten „zu drehen und zu wenden“. Neben der Vermittlung von stochastischen Kompetenzen ist ein weiteres Ziel derartiger Kurse der problemorientierte Einsatz des Werkzeuges.

Eine dritte Gruppe von Kursen arbeitet jeweils mit einem einzigen Werkzeug, das nahezu sämtliche Aspekte der stochastischen Grundausbildung technisch unterstützt. Neben der Analyse von Daten verfügt es, wie bei der erstgenannten Kurs-Gruppe, über Experimentiermöglichkeiten, Visualisierungen bzw. Simulationen. Viele Werkzeuge, wie etwa traditionelle Statistik-Pakete (z. B. SPSS³), unterstützen jedoch aufgrund ihrer Komplexität und Expertenausrichtung Lernarrangements zur Einführung in die Stochastik nur unzureichend. Häufig eingesetzte Werkzeuge sind z. B. Minitab⁴, Microsoft Excel⁵ und R⁶. Die Flexibilität und Mächtigkeit dieser Werkzeuge, einschließlich ihrer recht einfachen Simulationsmöglichkeiten, sind die Basis für den Entwurf von interaktiven Experimenten mit ähnlichem Funktionsumfang wie bei Applets (vgl. Biehler & Hofmann, 2011). Der Vorteil dieser „eingebetteten Experimente“ ist, dass etwa Lehrer bzw. Lernende mit ihrem Wissen über die Software diese Experimente an unterschiedliche Kontexte adaptieren, bzw. neue erstellen können. Eine Programmiersprache wie bei der Entwicklung von Applets brauchen sie nicht zu beherrschen.

Dennoch besitzen Werkzeuge wie Minitab, Microsoft Excel oder R einige Nachteile, da sie nicht primär für den Lehreinsetz als Stochastik-Werkzeug ausgerichtet sind. Dementsprechend begleiten sie einen technikunterstützten Stochastikkurs nicht optimal. Vielmehr hat sich der Pädagoge etwa bei der Konstruktion von Lernumgebungen bisweilen mit Eigenheiten des Werkzeuges auseinanderzusetzen, die den Konstruktionsprozess erschweren oder gar die Darstellung der Lerninhalte hemmen (Stichwort: irrelevanter Cognitive Load, vgl. Abschnitt 3.1.2). Auf dieser Problematik basierend hat Biehler (1997) Anforderungen an eine Werkzeug-Software formuliert, die sowohl das Lernen als auch das Anwenden von Stochastik und der Datenanalyse unterstützt und somit einen didaktisch sinnvollen Einsatz in der Stochastikausbildung ermöglicht.

Die dynamische Stochastik und Datenanalyse-Software FATHOM⁷ erfüllt im Wesentlichen alle Anforderungen von Biehler und das in vorbildlicher Weise (vgl. Biehler & Kombrink, 2002). FATHOM wurde entwickelt, um Lernenden beim Lernen von Stochastik zu helfen (Chance, Ben-Zvi, Garfield & Medina, 2007, S. 5). Kennzeichnend für die Software ist ihre Dynamik und ihr ansehnlicher Simulationsapparat. Sie ist leicht erlernbar und ermöglicht eine einfache und schnelle graphische Auswertung von Daten in unterschiedlichen Darstellungsarten.

Doch jede Software, mag sie auch leicht erlernbar sein, bedarf der Einarbeitung, um sie problemorientiert nutzen zu können. Forscher sprechen in diesem Zusammenhang

3 www.ibm.com/software/de/analytics/spss

4 www.minitab.com

5 office.microsoft.com/de-de/excel

6 www.r-project.org

7 www.keypress.com

von *Instrumenteller Genese* (Trouche, 2004): Der Lernende hat sich das „Werkzeug“ als ein „Instrument“ anzueignen, so dass er es in verschiedenen Kontexten problembezogen beherrscht einzusetzen.

Die AG Biehler erforscht bereits seit einigen Jahren die Software FATHOM in der schulischen und universitären Stochastikausbildung (vgl. z. B. Meyfarth, 2008; Maxara & Biehler, 2006). Dabei zeigen die Forschungsergebnisse unter anderem, dass der Prozess der Instrumentellen Genese, also der Lernprozess FATHOM zur Lösung stochastischer Probleme einsetzen zu können, weiterer Unterstützung bedarf. Dieser Bedarf war der Aufhänger zur Entwicklung der multimedialen Lernumgebung eFATHOM, die im Rahmen meines Dissertationsvorhabens entstand.

Ziele der Arbeit

Entwicklung der Lernumgebung

Mein Ziel war es, eine Lernumgebung zu entwickeln, die FATHOM-Neulingen einen einfachen und anwendungsorientierten Einstieg in die Software FATHOM ermöglicht. Im Sinne des minimalistischen Designs (vgl. Abschnitt 2.2) sollen sie zügig mit grundlegenden Arbeitsweisen vertraut gemacht werden, um schnell erste Erfolgserlebnisse im Umgang mit der Software zu erfahren. Die technischen Anforderungen an Lernende sollen bewusst niedrig gehalten werden. Quasi jeder, der über grundlegende Computerkenntnisse verfügt, soll mit der Lernumgebung umgehen können und sich hierüber FATHOM beibringen können.

Die entwickelte Lernumgebung eFATHOM erhebt jedoch keinen Anspruch darauf, sämtliche Facetten von FATHOM zu beleuchten. Als Einführung soll es in erster Linie darum gehen, FATHOM-Grundkompetenzen zu vermitteln und den Lernenden einen erfolgsversprechenden Einstieg in die Software zu ermöglichen. Hierzu wird konsequent auf (Lösungs-)Beispiele (Renkl, 2005) zurückgegriffen und neben FATHOM-Kompetenzen werden quasi Hand-in-Hand Aspekte der Stochastik mit vermittelt.

Inhaltlich ist der Schwerpunkt auf die Einführung in folgende stochastischen Themenkomplexe gelegt:

- die explorative Datenanalyse und
- die Simulation.

Diese Themen beinhalten Methoden, die konkret auf das viel geschätzte „Betreiben von Mathematik“ abzielen (Tietze et al. 2002, S. 113) und sind aus Sicht führender Experten unverzichtbar für einen modernen Stochastikunterricht (Biehler et al., 2010).

Bei der Aufbereitung der Lerninhalte flossen vielfach die Erfahrungen und Forschungsergebnisse aus der AG Biehler ein (z. B. Meyfarth, 2008; Maxara, 2009). Um ein Beispiel zu nennen wurden Materialien zur Unterstützung von Simulationen neu entwickelt und bestehende optimiert, etwa der graphische Simulationsplan und das Simulationsschema (vgl. Kapitel 7).

Die gestalterische Umsetzung von eFATHOM erfolgte unter Berücksichtigung folgender fünf Anforderungen:

1. Erprobte und gängige Gestaltungs-Prinzipien sollen beim Design der Lernumgebung und der Präsentation der Lerninhalte berücksichtigt werden (siehe Kapitel 2 und 3).
2. Der Lernende soll zu jeder Zeit beide Arbeitsplattformen (eFATHOM und FATHOM) im Blick haben.
3. Nach Erickson (2004, S. 10) ist die beste Möglichkeit, sich in FATHOM einzuarbeiten die, es sich von einem Experten zeigen zu lassen. Dieses Vermittlungsideal sollte in eFATHOM möglichst gut angestrebt werden. Umgesetzt wird es durch die Verwendung von Tutorial-Videos in denen eine Tutorin via Screencasts Arbeitsmethoden in FATHOM vorführt und erklärt. Der Lernende soll sie ferner in FATHOM selbst aktiv nachvollziehen.
4. eFATHOM soll kein digitales Lehrbuch sein, das vorrangig textlastig ist, aufgepeppt mit ein paar abgesetzten Animations- bzw. Interaktionselementen. Derartige Arrangements findet man selbst heutzutage noch häufig bei Online-Softwareokumentationen oder multimedialen (Mathematik-) Lernumgebungen. Stattdessen soll eFATHOM eine schlanke und übersichtliche Figur abgeben, mit sinnvoll integrierten Interaktionselementen.
5. Die Lernumgebung soll zeitgemäß gestaltet sein und den Lernenden durch eine durchdachte Navigationsstruktur die Arbeit erleichtern.

Strukturell ist eFATHOM in Module gegliedert, die ihrerseits aus fünf Lernelementen (*Einführung*, *Praxis* (Tutorial-Videos), *Wissen*, *Aufgaben & Anwendungen* und *Check-up*) bestehen (siehe Kapitel 6).

Evaluation der Lernumgebung

Bereits während der Entwicklung von eFATHOM wurden immer wieder Design- und Inhaltselemente der Lernumgebung evaluiert. Diese prozessbegleitenden, formativen Studien spielten eine wichtige Rolle. Sie sollten Schwachstellen identifizieren, um diesen zeitnah begegnen zu können und das Lernangebot zu optimieren. Im Jahre 2008 lag eFATHOM in der Version 1.3 in einer Fassung vor, an der nunmehr vorrangig summativ Studien durchgeführt wurden.

Insgesamt wurden sechs Studien mit unterschiedlichen Ausrichtungen an eFATHOM durchgeführt. Allen gemein lagen ihnen übergeordnet folgende Leitfragen zu Grunde, die ich im Rahmen meines Dissertationsvorhabens versucht habe zu beantworten:

1. *Welche Schwierigkeiten ergeben sich bei der Arbeit mit eFATHOM?*

Nach Schwierigkeiten wurde hauptsächlich während der Entwicklungszeit der Lernumgebung gefragt. Identifizierte Probleme konnten somit durch Modifikationen am Design oder den Lerninhalten ausgeräumt werden.

2. Wie nutzen die Lernenden die Lernumgebung?

Hierunter gliedern sich insbesondere Fragestellungen nach

- der Bearbeitungszeit der Module,
- der Navigation durch die Module,
- der Arbeitsweise mit den Tutorial-Videos und
- der Bearbeitung der Aufgaben.

Informationen über die Nutzung der Lernumgebung sind z. B. nützlich zur Planung eines Einsatzes der Lernumgebung in einem Kursszenario. In diesem Zusammenhang ist insbesondere die Bearbeitungszeit der Module von Interesse. Ferner dient das Wissen über Nutzungsgewohnheiten, ähnlich wie Leitfrage 1, der Optimierung der Lernumgebung. Wird beispielsweise beobachtet, dass viele Nutzer orientierungslos durch die Inhalte klicken, sollte die Navigationsstruktur überdacht werden.

3. Welche Akzeptanz findet die Lernumgebung bei den unterschiedlichen Adressaten?

Eine wichtige Frage, die wesentlich über Erfolg oder Misserfolg der Lernumgebung entscheidet. Nur wenn Lernende eFATHOM als Lernarrangement akzeptieren, wird sie auch von ihnen genutzt.

Im Rahmen dieser Leitfrage wird die Akzeptanz zu unterschiedlichen Aspekten der Lernumgebung erhoben. Beispielsweise wird nach dem Layout, der Struktur, den Orientierungsmöglichkeiten, der empfohlenen Bildschirmaufteilung, den Lernelementen oder dem Spaßfaktor gefragt.

4. Wie gut werden die FATHOM-Kompetenzen, insbesondere die Simulationskompetenzen, über die Lernumgebung vermittelt?

Diese Frage richtet sich an den Lernerfolg der Lernenden und ist somit auch wesentlich für den Erfolg der Lernumgebung. Die Simulationskompetenzen werden hier hervorgehoben, da eFATHOM einen seiner inhaltlichen Schwerpunkte auf die Durchführung von Simulationen legt und dieser Prozess kognitiv anspruchsvoll ist (Maxara 2009, S. 180). Untersucht wird einerseits, wie gut FATHOM-Kompetenzen überhaupt vermittelt werden, andererseits wird ein Vergleich mit anderen Lernmaterialien angestellt.

Aufbau der Arbeit

Aufgrund der oben beschriebenen Ziele gliedert sich die Arbeit in die folgenden drei Teile:

Theoretische Grundlagen: Im ersten Teil der vorliegenden Arbeit werden die Grundlagen für die Entwicklung der Lernumgebung und deren Evaluation beschrieben. In *Kapitel 1* wird auf die zu erlernende Software FATHOM eingegangen. Existierendes Lernmaterial wird begutachtet, der Simulationsapparat wird vorgestellt und die erwerbbaeren FATHOM-Kompetenzen werden unterschieden. *Kapitel 2* stellt Vor- und Nachteile von Online- und Offline-Dokumentationen gegenüber und beschreibt das von J. M. Carroll (1998a) entwickelte *Minimalistische Modell*

für Instruktions-Design, dessen Empfehlungen wesentlich für Designentscheidungen von eFATHOM waren. *Kapitel 3* beschreibt zwei prominente Modelle aus der medienpädagogischen Forschung zum Wissenserwerb mit digitalen Medien: Die *Cognitive Load Theorie* von Chandler & Sweller (Sweller, 2005) und die *kognitive Theorie multimedialen Lernens* von Mayer (2005b). An den aus diesen Modellen resultierenden Design-Prinzipien orientierte sich die Umsetzung der Lerninhalte in eFATHOM.

Die entwickelte multimediale Lernumgebung eFATHOM: Inhalt des zweiten Teils ist die Beschreibung des Aufbaus und der Inhalte von eFATHOM. *Kapitel 4* gibt einen Überblick über die zwei Themenkomplexe, die in eFATHOM behandelt werden. In *Kapitel 5* werden die Lerninhalte modulbezogen vorgestellt. *Kapitel 6* beleuchtet den strukturellen Aufbau der Lernumgebung. In *Kapitel 7* werden die Weiterentwicklungen des Simulationsplans als didaktische Hilfsmittel für Simulationen in FATHOM vorgestellt. *Kapitel 8* beschreibt wesentliche Prinzipien des Mikro-Designs der Lernumgebung.

Empirische Untersuchungen: Der dritte Teil stellt die verschiedenen zu eFATHOM durchgeführten Studien vor. *Kapitel 9* stellt das über allen Studien liegende Untersuchungsdesign und die Leitfragen der Evaluation vor. In *Kapitel 10* wird eine Übersicht über die durchgeführten Studien gegeben. Die *Kapitel 11 bis 13* stellen daraufhin sechs Studien vor. Ausführlicher werden dabei die ersten beiden durchgeführten Studien vorgestellt. Im *Kapitel 14* werden schließlich die Erkenntnisse aus den Studien zusammengefasst und ein Ausblick gegeben.

Anhänge der Arbeit

Die Anhänge der Arbeit, auf die in den einzelnen Kapiteln verwiesen wird, finden sich im OnlinePLUS Programm vom Springer Spektrum Verlag unter der URL:

<http://www.springer-spektrum.de/Privatkunden/OnlinePLUS.html>.

Übersicht der Anhänge

- A1 Simulationsschemata für Simulationen in FATHOM
- A2 Handouts aus eFATHOM
- A3 Englische Version des graphischen Simulationsplans
- A4 Fragebogen der Studie 1
- A5 Fragebogen zur Computernutzung
- A6 Fragebogen zur Computernutzung – Zuordnungsvorschrift
- A7 Aufgabe „Wer gewinnt?“

I Theoretische Grundlagen

1 Die stochastische Werkzeugsoftware FATHOM

Die vorliegende Arbeit beschreibt eine Lernumgebung zum Erlernen der Software FATHOM. Doch bevor wir uns näher mit dieser Lernumgebung befassen, schauen wir in diesem Kapitel auf die zu erlernende Software. In deutscher Sprache liegt FATHOM in Version 2 vor¹. Sie wurde von Key Curriculum Press entwickelt, von der AG Biehler ins Deutsche adaptiert und wird vom Springer-Verlag seit 2006 bzw. von Schoedel seit 2011 auf dem deutschen Markt vertrieben. Entwickelt wurde sie primär für die schulische und universitäre Lehre, um als dynamisches Stochastik- und Datenanalyserwerkzeug die Stochastikausbildung zu unterstützen. Mit Bezug auf Erickson (2002) beschreiben Chance & Ben-Zvi et al. (2007, S. 5) FATHOM wie folgt:

„FATHOM is a dynamic computer learning environment for teaching data analysis and statistic based on dragging, visualization, simulation, and networked collaboration. The strongest features of FATHOM are the easy access to multiple, linked representations [...], including sliders [...], the ability to build and run simulations, and the many different ways of importing data from a variety of sources.“

Biehler (1991, 1997) formulierte Kriterien für eine didaktisch sinnvoll einsetzbare Software im Stochastikunterricht. Diese Kriterien erfüllt FATHOM in beispielhafter Weise. So ist sie vergleichsweise leicht erlernbar, sie verfügt über die Möglichkeit Lernumgebungen zu erstellen, mit denen interaktiv gearbeitet werden kann, mit ihr lassen sich statistische Daten auf einfache Weise in unterschiedlichen Darstellungsarten graphisch darstellen und sie ermöglicht es stochastische Problemstellungen zu simulieren.

Dies motiviert den Einsatz von FATHOM in einem verständnisorientierten Stochastikunterricht. Doch mag die Software leicht erlernbar sein, eine gewisse Zeit der Einarbeitung bedarf auch sie. Welche Möglichkeiten sich für den Nutzer zur Einarbeitung bieten, beschreibt Abschnitt 1.1. Ein wichtiger Aspekt von FATHOM ist die Möglichkeit stochastische Simulationen durchzuführen. In Abschnitt 1.2 werden verschiedene Varianten unterschieden, wie sich mit FATHOM stochastische Probleme in einer Simulation umsetzen lassen. Ferner werden Hilfswerkzeuge angesprochen, die den Benutzer bei der Simulation unterstützen. Abschnitt 1.3 beleuchtet die FATHOM-Kompetenzen, die der Benutzer aufweisen sollte, um geeignet mit FATHOM arbeiten zu können.

1 Stand: Sommer 2011

1.1 Erlernen von FATHOM

Die Software FATHOM, das dynamische Stochastik- und Datenanalysewerkzeug, wurde primär für die Stochastikausbildung an Schulen und Hochschulen entwickelt. Den Großteil der Nutzer von FATHOM können wir folglich in drei Gruppen teilen:

Lehrende: Zu dieser Gruppe zählen wir ausgebildete Lehrer und Universitäts-Dozenten. Sie verfügen über notwendiges stochastisches Wissen, das sie an Lernende weitergeben. Wollen sie FATHOM im Unterricht bzw. in Lehrveranstaltungen z. B. als Demonstrationswerkzeug einsetzen, sollten sie ein umfassendes Wissen über den Funktionsumfang² der Software besitzen.

Studierende: Zu dieser Gruppe zählen wir Studierende, die eine Stochastikveranstaltung in der Hochschule besuchen, in der vom Dozenten FATHOM eingesetzt wird. In der Regel sind dies Lehramtsstudierende, die mit Unterstützung von FATHOM stochastische Inhalte lernen sollen. Auch gehen wir davon aus, dass sie sich ein breites Wissen über die Funktionen von FATHOM für den möglichen späteren Einsatz im Unterricht aneignen sollen. Zu dieser Gruppe können wir ferner Lehrer aus Fortbildungskursen zur Stochastik mit Unterstützung von FATHOM zählen. Wie die Studierenden aus der Uni erwerben sie stochastisches Wissen und umfangreiche FATHOM-Kompetenzen.

Schüler: Zu dieser Gruppen zählen wir Schülerinnen und Schüler aus dem schulischen Umfeld. Für sie liegt der Fokus der Benutzung von FATHOM hauptsächlich in der Aneignung stochastischer Inhalte. Es geht hier nicht darum, die Software um ihrer selbst willen zu lernen, sondern sie als Werkzeug sinnvoll einsetzen zu können. In diesem Zusammenhang sollten sie auch nur die FATHOM-Kompetenzen vermittelt bekommen, die sie zur Bearbeitung des gerade anstehenden Themas benötigen. Damit verkürzt sich die Lernzeit von FATHOM und die Handhabung der Software ist weniger fehleranfällig, denn nur ein Teil der FATHOM-Funktionen muss bekannt sein.

1.1.1 Vorhandenes Lernmaterial für FATHOM

Das bisher verfügbare Lernmaterial zum Erlernen der Software FATHOM – wir beschränken uns auf die deutsche Version – ist recht überschaubar. Zu nennen wäre etwa³:

- das Buch FATHOM 2 – Eine Einführung,
- die FATHOM-Hilfe (programmintern),

2 Hiermit sind nicht die im Formeleditor aufgeführten Funktionen von FATHOM gemeint, sondern die programmspezifischen Funktionen der Software.

3 Seit Frühjahr/Sommer 2011 gibt es neben dem folgend genannten Material auch von Schroedel vertriebene Literatur zu FATHOM. Diese ist an Lehrer gerichtet und enthält neben einer Einführung in die Software FATHOM ausgearbeitetes Unterrichtsmaterial für den Stochastikunterricht mit FATHOM. Wir gehen an dieser Stelle nicht weiter auf dieses Material ein, da es zeitlich erst nach der hier vorliegenden Dissertation zu verorten ist. So ist etwa die hier vorgestellte Lernumgebung eFATHOM ein integraler Bestandteil der Schroedel-FATHOM-Materialien. Erwähnt werden sie wieder in Abschnitt 14.2.

- das Kurskonzept von Meyfarth (2006a)
- und vertiefende Literatur, national, wie international.

Gehen wir folgend auf die verschiedenen Materialien ein. Dabei diskutieren wir auch, in wie weit es für die unterschiedlichen Nutzergruppen als Lernmaterial geeignet ist.

FATHOM 2 – Eine Einführung: Dieses Buch (Biehler et al, 2006; Abb. 1.1) ist der Software beigelegt. In acht Kapiteln erhält der Nutzer auf ca. 250 Seiten eine recht umfassende Einführung in die meisten Funktionen von FATHOM. Im Kontext von praxisnahen und schulrelevanten Fragestellungen werden anhand von Schritt-für-Schritt-Anleitungen diese Funktionen erläutert. Thematische Schwerpunkte sind:

- Grundkomponenten von FATHOM
- Beschreibende Statistik – Verteilungen
- Vergleich von Gruppen
- Funktionendarstellung
- Daten und funktionale Zusammenhänge
- Simulation einfacher Zufallsexperimente
- Wahrscheinlichkeitsverteilungen
- Testen und Schätzen

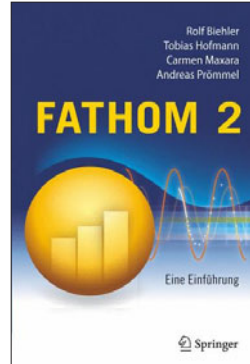


Abb. 1.1 FATHOM-Buch

Dem Buch ist ferner in Form eines Faltblatts eine Kurzreferenz beigelegt. Sie beschreibt in knapper Form und üppig illustriert die wichtigsten FATHOM-Komponenten. Bei der Gestaltung wurde der Split-Attention-Effekt berücksichtigt (siehe Abschnitt 3.1.3). Erläuterungen der Illustrationen wurden demnach nicht im Fließtext, sondern direkt bei der Graphik in sie hineinverweisend platziert (siehe Abb. 1.2).

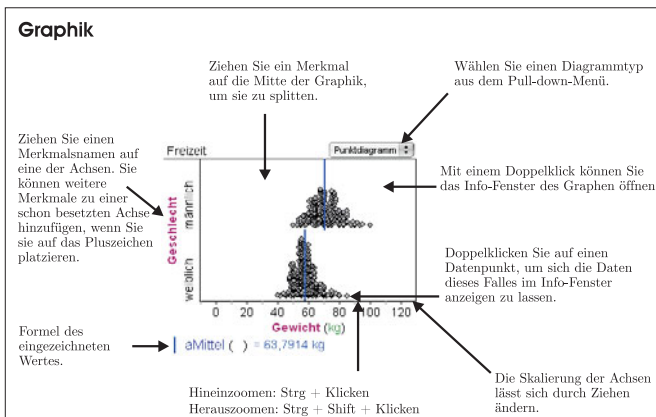


Abb. 1.2 Auszug aus der Kurzreferenz des FATHOM-Buches

Für Lehrende wie auch für Studierende ist das FATHOM-Buch für das Selbststudium ein taugliches Lehrbuch, um sich in FATHOM einzuarbeiten und ein umfassendes Wissen über die Software zu erhalten, auch wenn hierzu Studien fehlen. Im Einführungskapitel „Grundkomponenten von FATHOM“ werden die wichtigsten FATHOM-Funktionen erläutert. In den weiteren Kapiteln wird am Beispiel schulrelevanter Stochastikinhalte das weitere Spektrum der FATHOM-Funktionen erläutert. Somit bietet es auch implizit geeignetes Unterrichtsmaterial für einen sinnvollen Einsatz der Software in der Stochastikausbildung.

Für Schüler, insbesondere aus der Sekundarstufe I, ist das FATHOM-Buch nur bedingt als Lernbuch geeignet. Geht es darum, nur bestimmte FATHOM-Kompetenzen zu erlangen, ist das Buch zu umfangreich. Die Suche nach dem benötigten Wissen kann sich unter Umständen als frustrierend herausstellen, da benötigte Recherchekompetenzen unzureichend ausgebildet sind. Es wäre höchstens denkbar vom Lehrer ausgesuchte Kurzauszüge den Schülern zum Selbststudium zu geben. Dies ist nach meinem Wissen bisher noch nicht praktiziert worden.

FATHOM-Hilfe: In FATHOM ist über das Hilfe-Menü eine umfangreiche Hilfe aufrufbar. Sie gliedert sich in verschiedene Komponenten aus unterschiedlichen Einstiegen in FATHOM, (englischen) Lehrfilmen, Beispieldokumenten und eine Referenz:

Erste Schritte; Arbeiten mit FATHOM; Filme; Beispieldokumente; Ein Überblick über FATHOM; Referenz.

Wir wollen kurz auf die einzelnen Abschnitte eingehen.

- *Erste Schritte:* Wie der Name vermuten lässt, erhält der Benutzer auf diesen Seiten Erklärungen zu grundlegenden FATHOM-Funktionen, wie dem Öffnen von FATHOM-Dokumenten, der Dateneingabe bzw. dem Datenimport, einfachen graphischen Auswertungen und der Rückgängig-Anweisung in FATHOM. Die Erklärungen werden als Fließtext mit vereinzelt FATHOM-Screenshots angeboten. Vielfach wird aus dem Fließtext zu weiterführenden Informationen in der FATHOM-Hilfe verlinkt. Dieser Abschnitt ist für unerfahrene FATHOM-Nutzer gedacht, die sich selbstständig einen ersten Überblick über die Software verschaffen wollen. Wird den Links nicht nachgegangen, werden hier lediglich rudimentäre FATHOM-Funktionen erklärt.
- *Arbeiten mit FATHOM:* Auf diesen Seiten erfährt der Benutzer gegliedert nach FATHOM-Komponenten wie er mit selbigen arbeiten kann. Unterpunkte sind beispielsweise „Mit Graphen arbeiten“, „Mit Kollektionen arbeiten“ oder „Mit Formeln arbeiten“. Für jede Komponente wird deren Verwendungszweck beschrieben und welchen Funktionsumfang sie hat bzw. wie mit ihr zu arbeiten ist. Primär geht es hier um die Vermittlung von reinen Software-Kompetenzen. **Workflows, etwa zur Durchführung einer Datenanalyse oder einer Simulation, werden nur rudimentär aufgegriffen.** In diesem Zusammenhang wird auf weiterführende Literatur, etwa das oben beschriebene und der Software beiliegende FATHOM-Buch (Biehler et al., 2006), verwiesen. Die Darbietung der

Inhalte gestaltet sich wie bei den *Ersten Schritten* als leicht illustrierter, stark verlinkter Fließtext.

Dieser Abschnitt ist für Nutzer gedacht, die bereits erste Erfahrungen mit FATHOM gesammelt haben. Um mehr zu einzelnen FATHOM-Komponenten zu erfahren, lässt sich hier zügig die notwendige Information finden.

- *Filme*: Eine visuelle Herangehensweise bietet der Abschnitt *Filme* in der FATHOM-Hilfe. Er enthält 32 kurze englische Screencasts mit einer Abspieldauer von ca. 1 Minute \pm 30 Sekunden. Jeder Film erklärt eine Funktion von FATHOM. Titel sind z. B. „Dateneingabe und einen Graph erzeugen“, „Kommandos aus dem Kontextmenü wählen“, „Y-Abschnitt von Geraden bei Null fixieren“ oder „Verwendung von Regressionsgeraden in Streudiagrammen“. Wie im Abschnitt *Arbeiten mit FATHOM* liegt der Fokus im Erklären der FATHOM-Funktionen, Bedeutungen stochastischer Konzepte, wie z. B. der Regressionsgeraden, sollten dem Benutzer vertraut sein. Eine Übersichtsseite fasst die Inhalte der Filme kurz zusammen.

Nutzer finden hier „bewegte“ Erklärungen, die dem dynamischen Konzept von FATHOM mehr gerecht werden als Erklärungen im Fließtext. Sofern man der englischen Sprache mächtig ist, kann man sich hiermit schnell grundlegende FATHOM-Kompetenzen aneignen. Zum Nachschlagen ist die Filmesammlung hingegen nur bedingt geeignet. Die FATHOM-Hilfe bietet hierfür keine gezielten Suchmöglichkeiten an. Aus anderen Texten der FATHOM-Hilfe wird nicht auf entsprechende Videos referenziert und die eingebaute Suche verweist lediglich auf die Übersichtsseite der Filme, sofern ein Film zu einem gesuchten Thema existiert. Den genauen Film hat der Nutzer auf der Seite selbst ausfindig zu machen.

- *Beispieldokumente*: Mehr als 250 FATHOM-Dateien sind der Software beigelegt. Jede Datei enthält entweder einen interessanten Datensatz zum Analysieren oder eine Lern- bzw. Arbeitsumgebung. Neben den Texterklärungen und den Filmen bieten die Lernumgebungen, die auf FATHOM-Techniken abzielen, für den Nutzer eine dritte Herangehensweise, sich mit den FATHOM-Funktionen vertraut zu machen.

Darüber hinaus gibt es eine üppige Anzahl an weiteren FATHOM-Umgebungen zu mathematischen Themen aus der Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung, aber auch zur Algebra, Analysis, Geometrie und Zahlentheorie. Ferner gibt es Arbeitsumgebungen und Datensätze zur Astronomie, Biologie, Chemie und Physik, zur Geographie, Technologie, Sport und Sozialwissenschaften. Diese Dateien bieten vielfältige Ansätze für einen interessanten, fächerübergreifenden Unterricht, in dem Schülerinnen und Schüler selbstständig mit den Lernumgebungen und Datensätzen forschen können.

- *Ein Überblick über FATHOM*: Dieser Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über die verschiedenen FATHOM-Komponenten wie beispielsweise „Kollektionen“, „Graphen“, „Merkmale“ oder „Messgrößen“. Hier geht es weniger um praktisch anwendbare Dinge, sondern über den Aufbau von FATHOM. Nutzer, die die

Struktur von FATHOM verstehen möchten, können sich diesem Abschnitt der FATHOM-Hilfe widmen. Vermittelt werden die Inhalte als verlinkter Fließtext mit illustrierenden Graphiken.

- *Referenz*: Die Referenz gibt ausführliche Informationen zu wichtigen FATHOM-Komponenten. Thematisiert werden alle verfügbaren Graphen in FATHOM, Registerkarten des Info-Fensters, Menüs in FATHOM, Operatoren, Funktionen, Einheiten und Shortcuts. Dieser Abschnitt der Hilfe ist für Nutzer zum schnellen Nachschlagen gedacht.

Ergänzend ist ein Glossar angefügt, der zu jedem Aspekt von FATHOM eine kurze Erklärung gibt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die FATHOM-Hilfe dem Nutzer vielfältige Möglichkeiten bietet, sich in FATHOM einzuarbeiten oder während der Arbeit mit FATHOM schnell etwas nachzuschlagen. Trotz der Auswahl an Dokumentationsmaterial – Texte, Filme, Dateien – geht es in erster Linie um die Vermittlung von FATHOM-Kompetenzen, die insbesondere bei den Filmen isoliert voneinander vorgestellt werden. Der Nutzer hat sie, je nach Vorhaben, erst zu einem sinnvollen Workflow zu verknüpfen.

Lehrende mögen in der FATHOM-Hilfe ausreichend Informationen für einen soliden Umgang mit FATHOM finden. Für eine umfassende Handhabung sollten sie aber weitere Literatur etwa zur Simulation oder zum Testen von Hypothesen mit FATHOM heranziehen. Für Studierende und insbesondere für Schüler, die neben FATHOM-Kompetenzen auch stochastische Kompetenzen aufbauen wollen bzw. sollen, ist die FATHOM-Hilfe eher zum Nachschlagen, denn als solides Lehrmaterial gedacht.

Kurskonzept: Beispielhaft sei hier das Kurskonzept von Meyfarth (2006a) genannt. Es wurde für den Stochastik-Leistungskurs in der Oberstufe entwickelt und forciert den kontinuierlichen Einsatz der Software FATHOM. Inhaltlich gliedert sich das Kurskonzept in die drei ausgearbeiteten Unterrichtseinheiten:

- Einstieg in die Stochastik mit Simulationen,
- Binomialverteilung,
- Testen von Hypothesen.

Es ist darauf ausgerichtet, dass die Lernenden eigenständig und aktiv mit der Software FATHOM umgehen, um sich mit den stochastischen Inhalten auseinanderzusetzen. Sie lernen, wie sie eine Simulation durchführen können und arbeiten mit vorgefertigten Lernumgebungen. Ihnen sollte FATHOM sowohl in der Schule als auch zu Hause zur Verfügung stehen. Das Unterrichtsmaterial besteht aus einer didaktischen Beschreibung der Unterrichtseinheiten, Arbeitsblätter nebst Musterlösungen zu den Aufgaben, Merkblätter zur Ergebnissicherung sowie in FATHOM umgesetzte dynamische Lernumgebungen. Bezüglich der Simulation mit FATHOM wird nur eine Simulationsmethode – die *sequenzielle Simulation* – behandelt.⁴

⁴ In FATHOM gibt es mehrere Simulationsarten. Vgl. Maxara (2009) bzw. Abschnitt 1.2.1.

Dieses Kurskonzept wurde in der Oberstufe mehrfach eingesetzt und dessen Tauglichkeit untersucht (vgl. Meyfarth 2008). Hier gibt es Resultate, die für den Sinn einer Lernumgebung wie eFATHOM sprechen. In den Kapiteln 5 und 7 werden wesentliche Resultate der Studien aufgegriffen.

Vertiefende Literatur: Ferner gibt es mittlerweile eine Fülle an weiterführender Literatur, die vordergründig FATHOM-Kompetenzen vermitteln will bzw. FATHOM als Werkzeug vorstellt, um stochastische Inhalte zu lehren. Aus dem nationalen und internationalen Markt sei auszugsweise Folgende erwähnt:

- *Workshop Statistics, Discovery with Data and FATHOM* (Rossman, Chance & Lock, 2001): Das Buch greift stochastische Themen auf, die in verschiedenen sog. „Aktivitäten“ anhand von FATHOM-Umgebungen erforscht werden.
- *Fifty FATHOMs – Statistics demonstrations for deeper understanding* (Erickson, 2002): Das Buch stellt zu unterschiedlichen stochastischen Themen vorgefertigte FATHOM-Umgebungen vor. Anhand derer kann sich der Leser im direkten Umgang mit diesen angeleitet durch Handlungsanweisungen und Forschungsfragen entdeckend in die dargebotenen stochastischen Themengebiete einarbeiten.
- *Teaching Mathematics with FATHOM* (Ayiles-Scott, Erickson & David, 2005): Das Buch bietet eine reichhaltige Materialsammlung an direkt einsetzbaren Unterrichtsvorschlägen mit sinnvollem Einsatz von FATHOM im Algebra-, Geometrie-, Analysis- und Stochastikunterricht. Es ist der englischsprachigen Version von FATHOM beigelegt, aber auch separat erhältlich.
- *Einführung in die stochastische Simulation mit FATHOM* (Maxara, 2006): Diese Broschüre führt den Leser in die verschiedenen Varianten ein, in FATHOM Simulationen durchzuführen.
- *Anwendungsorientierte Mathematik: Von Daten zur Funktion* (Engel, 2009): Das Buch bietet eine Einführung in die mathematische Modellbildung für Lehramtsstudierende.

Darüber hinaus gibt es verschiedene Artikel in einschlägigen Fachzeitschriften der Mathematikdidaktik bzw. Buchkapitel, die den Einsatz von FATHOM als gewinnbringendes Werkzeug in der Stochastikausbildung thematisieren (vgl. z. B. Lock, 2002; Biehler & Hartung, 2006; Biehler, 2007; Prömmel & Biehler, 2006/07; Biehler, Prömmel & Hofmann, 2007; Edwards & Phelps, 2008).

Diese Literatur wurde für Lehrende und Studierende verfasst, die ihre FATHOM- bzw. Stochastik-Kompetenzen vertiefen wollen oder nach guten Anregungen für den Stochastikunterricht Ausschau halten.

1.1.2 Geeignetes Lernmaterial für FATHOM-Neulinge

Nach dieser Bestandsaufnahme des vorhandenen Einführungsmaterials in FATHOM wollen wir nun aus Sicht des Nutzers die Frage diskutieren, welches Material zum Lernen von FATHOM geeignet ist, bzw. wie adäquates Lernmaterial auszusehen hätte.

Erickson (2004, S. 10), ein Mitentwickler der Software FATHOM, empfiehlt für den Einstieg in FATHOM Folgendes:

„The best way to learn the mechanics of FATHOM is to have somebody show you. You can learn the basics in just a few minutes. These basics include entering data, making graphs to plot your data points, and putting lines on the graphs. If you don't have an instructor handy, you can probably figure it out on your own. Another alternative is to use the FATHOM 101 materials that come with this book; they're a series of really short videos that show you the basics, kind of as an instructor would. As a last resort, you can read some directions. Like these:“⁵

Es folgt eine knappe Erklärung über ca. eine Seite in Form von mit FATHOM-Screenshots versehenem Fließtext. Erläutert wird die Eingabe von Daten, das Erstellen von Graphiken, wie sich darin Geraden einzeichnen lassen und diese dynamisch an die Daten anpassen lassen. Thema des Buches ist der funktionale Zusammenhang von Daten.

Der Königsweg sich in FATHOM einzuarbeiten besteht nach Erickson darin, sich die Funktionsweise von einem FATHOM-Experten zeigen zu lassen. Nach meinen Erfahrungen kann ich diesem nur beipflichten. Die grundlegenden FATHOM-Komponenten sind schnell erklärt und die Bedienung wird für gewöhnlich vom Lernenden gut verstanden. Eine Studie an der Reformschule Kassel stützt diese Sicht (Biehler, 2006; Meister, 2006). In ihr wurden grundlegende FATHOM-Kompetenzen zur Datenanalyse Schülerinnen und Schülern aus der Sekundarstufe I vom Lehrer bzw. von Studierenden, die ihre schulpraktischen Studien absolvierten, vermittelt. Die Schülerinnen und Schüler sollten daraufhin selbstständig mit FATHOM arbeiten. Auf der FATHOM-Ebene traten dabei keine nennenswerten Probleme auf. Für alle Nutzergruppen, Lehrende, Studierende sowie Schüler, scheint die direkte Vermittlung von FATHOM-Grundlagen am geeignetsten zu sein. Ferner enthält sie eine soziale Komponente und die Vermittlung ist adressatengerecht anpassbar.

Sollen hingegen weiterführende FATHOM-Kompetenzen vermittelt werden, etwa die Durchführung von Simulationen, ist eine einmalige Beschreibung des Simulationsprozesses in FATHOM durch einen FATHOM-Experten nicht ausreichend genug. In diesem Fall sind die durchzuführenden Schritte in FATHOM zu komplex, als dass sie sofort vom Lernenden verstanden und umgesetzt werden können. Zumal hier ein Verständnis auf verschiedenen Ebenen aufzubauen ist (vgl. Abschnitt 1.2 und Kapitel 7). Hier bedarf es tiefergehender Erklärungen oder begleitend unterstützendes Lernmaterial.

Ist kein FATHOM-Experte zur Einführung in die Software verfügbar, empfiehlt Erickson die von ihm genannten kurzen Lernvideos zu nutzen. Sie entsprechen den im vorherigen Unterabschnitt diskutierten Filmen aus der FATHOM-Hilfe. Sie haben die Form eines Screencasts, in dem ein FATHOM-Experte jeweils einen Aspekt der Software erklärt. Hierbei geht zwar die Interaktivität zwischen FATHOM-Experten und Nutzer

5 Diese Empfehlungen mögen nicht unbedingt FATHOM-spezifisch sein, sondern können auch allgemein zum Erlernen von Werkzeugsoftware gelten. Kapitel 2 greift das Thema „Erlernen einer Werkzeugsoftware“ differenzierter wieder auf.

verloren, der Experte kann sich nicht auf den Nutzer einstellen, auch beleuchten die Filme nicht alle Aspekte von FATHOM, doch ist hiermit insgesamt die dynamische Nutzungsweise von FATHOM sehr gut vermittelbar.

Wie im vorherigen Abschnitt bei der Erklärung der Filme aus der FATHOM-Hilfe bereits angedeutet, sollten die Lernenden der englischen Sprache mächtig sein, damit die Filme ein gewinnbringendes Lernmaterial zur Einführung in FATHOM sein können. Sie liegen bisher nur in diesem Sprachformat vor. Empfehlungen für Nutzergruppen sind aufgrund individuell unterschiedlich ausgeprägter Sprach-Kompetenzen nur bedingt zu geben. Nach meinem Empfinden würde ich sie für Lehrende, Studierende und Schüler der Sekundarstufe II als geeignet ansehen. Hingegen sind sie für Schüler aus der Sekundarstufe I wegen womöglich geringerer englischer Sprach-Kompetenzen nur bedingt geeignet.

Als dritte Möglichkeit der Einarbeitung in FATHOM führt Erickson einen Lerntext auf, welcher die grundlegenden FATHOM-Kompetenzen vermitteln soll, die Grundlage für die weiterführenden Themen seines Buches sind.

Allgemein können wir als drittbeste Möglichkeit schriftliche Lernarrangements zur Einarbeitung in FATHOM ansehen. Davon ausgehend, dass Mensch, Video und Text FATHOM gleich gut erklären, hat ein FATHOM-Experte, real oder im Video dennoch Vorzüge vor den schriftlichen Lernarrangements. Gerade die dynamische Arbeitsweise von FATHOM ist viel schneller und einfacher erklärt, indem man sie gezeigt bekommt, als dass ein Text sie vermitteln kann (vgl. hierzu auch Abschnitt 8.2). Ist die grundlegende Arbeitsweise von FATHOM dem Nutzer bereits vertraut, hat dieser Nachteil von Texterklärungen weniger Gewichtung. Beispielsweise weiß ein FATHOM-Nutzer wenn er die Anweisung liest „Ziehen Sie Merkmal „Wurf“ in eine Auswertungstabelle“ wie er sie in FATHOM umsetzen kann, während der FATHOM-Neuling sie noch nicht verstehen wird.

Für die individuellen Anforderungen der eingangs beschriebenen Nutzergruppen zeichnen sich folgende Lernempfehlungen ab:

Lehrende: Kann der Lehrende auf einen FATHOM-Experten zurückgreifen, sollte er sich die Grundlagen von ihm zeigen lassen. Alternativ oder in Ergänzung kann er auf die Filme aus der FATHOM-Hilfe zurückgreifen. Für umfangreiches Wissen über FATHOM steht ihm das der Software beigelegte FATHOM-Buch und weiterführende Artikel zur Verfügung. Unterrichtsmaterialien und -anregungen findet er ebenfalls dort, aber auch in bereits existierenden Unterrichtskonzepten für den Stochastikunterricht mit Unterstützung von FATHOM.

Studierende: Studierende, die eine Lehrveranstaltung besuchen, in denen der Dozent FATHOM aktiv benutzt und Dinge darin vorführt, sind in der Situation auf einen FATHOM-Experten zurückzugreifen. Jedoch geht die Interaktivität zwischen FATHOM-Experten und den Studierenden in Lehrveranstaltungen weitestgehend verloren. Für das Selbststudium können sie auf das oben aufgeführte weitere Lernmaterial zurückgreifen.

Schüler: Da das hier aufgeführte Lernmaterial für Schüler nur bedingt geeignet ist, war es in der Schule bisher Praxis, dass der Lehrer die notwendigen FATHOM-Kompetenzen den Schülern während des Unterrichts vermittelt hat. Somit konnten sie auf die von Erickson präferierte Vermittlungsform zurückgreifen. Doch wie bei den Studierenden bereits angedeutet, ist bei der frontalen Vermittlung im Klassenraum die Berücksichtigung des einzelnen Schülers vom Lehrer nur bedingt umsetzbar. Sollen etwa die Schüler am Rechner die Schritte gleich umsetzen, die der Lehrer vorführt, bedarf das einiges an Zeit, wenn der Lehrer keinen Schüler abhängen will. Diese Zeit, die als reine Lernzeit für FATHOM beansprucht wird, geht dem Unterricht zum Lernen mathematischer Inhalte gewissermaßen verloren.

Gerade für die Gruppe der Schüler zeigt sich ein Bedarf für weiteres FATHOM-Lernmaterial. Dies war ein Aspekt, der die Entwicklung der Online-Lernumgebung eFATHOM motiviert hat. Wie die bereits existierenden Filme aus der FATHOM-Hilfe, welche die dynamische Arbeitsweise von FATHOM gut vermitteln, sollte auch eFATHOM auf Filmen aufbauen und die wesentlichen Inhalte über Tutorial-Videos vermitteln, doch nun in deutscher Sprache. Inhaltlich wurden zwei Schwerpunkte gesetzt. Zum einen werden die Grundlagen und die dynamische Arbeitsweise von FATHOM vermittelt, so dass der Lernende im Anschluss ohne Probleme weiterführende Literatur zu FATHOM verstehen kann. Zum anderen wird in das komplexe aber wichtige Thema der Simulation in FATHOM eingeführt. Die FATHOM-Hilfe greift beispielsweise längst nicht alle Facetten der Simulationsmöglichkeiten von FATHOM auf. Lernvideos zu dem Thema sucht man bisher vergebens.

Bezüglich der Filme aus der FATHOM-Hilfe haben die Tutorial-Videos aus eFATHOM zwei Vorzüge. Zum einen sind sie deutschsprachig und zum anderen verfolgen sie die Philosophie, nicht isoliert einzelne Bedienungsaspekte von FATHOM vorzustellen, sondern im Kontext eines Vorhabens einen sinnvollen Workflow in FATHOM nachzuzeichnen – dies gilt insbesondere für das Themengebiet der Simulation. Somit wird dem Nutzer neben technischem FATHOM-Wissen ein zielführender Umgang mit der Software vermittelt.

Auf häufig auftretende Verständnisschwierigkeiten oder Fehlbedienungen von FATHOM-Neulingen im Umgang mit der Software, die im Laufe der Forschungsarbeit mit FATHOM in der AG Biehler identifiziert wurden (vgl. etwa Maxara, 2009; Meyfarth, 2008), wird in eFATHOM betont hingewiesen (vgl. diesbezügliche Ausführungen in den Kapiteln 5 und 7).

Doch eFATHOM wurde nicht in erster Linie für Schülerinnen und Schüler entwickelt. Allen FATHOM-Neulingen soll die Lernumgebung den Einstieg in FATHOM erleichtern, denn nicht immer steht ein FATHOM-Experte zur Verfügung. So können Lehrende, Studierende und Schüler von der Lernumgebung profitieren. Alle Nutzergruppen können sich zunächst ein tragfähiges Fundament im Umgang mit FATHOM aufbauen, von dem sie im weiteren Umgang mit FATHOM profitieren. Bei Studierenden und Schülern kann die Aneignung von grundlegenden FATHOM-Kompetenzen auch im Selbststu-

dium erfolgen. So wurden beispielsweise bei Schülerinnen und Schülern gute Erfahrungen damit gesammelt, den Kompetenzerwerb von FATHOM durch eFATHOM in die Hausaufgabe auszulagern (Prömmel & Biehler, 2009), um mehr Zeit für stochastische Inhalte während des Unterrichts zur Verfügung zu haben (vgl. Kapitel 10). Dem Lehrer steht mit eFATHOM gleichzeitig ein einheitliches Lehrmaterial zur Verfügung.

1.2 Simulieren mit FATHOM

Die Behandlung der Simulation innerhalb der stochastischen Ausbildung hat verschiedene Vorteile. Sie bietet neben den klassischen Herangehensweisen einen experimentellen Zugang, der von Kalkül und Theorie entlastet und die Chance auf ein umfassenderes Bild der stochastischen Inhalte gewährt (vgl. Meyfarth, 2008, S. 1). Riemer (1985) und Kütting (1994) fordern, aufgrund der großen praktischen Bedeutung, die der Simulation beizumessen ist, deren Behandlung im schulischen Umfeld. Biehler & Maxara (2007) unterscheiden drei Begründungen und Perspektiven für den Einsatz von Simulationen in der Stochastikausbildung:

1. „Simulation zur Repräsentation von Zufallsexperimenten[...]“,
2. Simulation als Werkzeug im Wechselspiel mit analytischen (kombinatorischen) Methoden,
3. Simulation als Werkzeug, als Methode *sui generis*.“ (Biehler & Maxara, 2007, S. 45).

Im Folgenden wollen wir diese Punkte kurz skizzieren. Ausführlichere Darstellungen finden sich in Biehler & Maxara (2007, S. 45f.) und Maxara (2009, S. 19f.).

Simulation zur Repräsentation: Die Schulstochastik wird vielerorts von dem Laplaceschen Wahrscheinlichkeitsbegriff dominiert. Der frequentistische Wahrscheinlichkeitsbegriff hat aber ebenso seine Berechtigung und sollte in der stochastischen Ausbildung mehr Bedeutung erhalten. Die Simulation bietet als Repräsentationswerkzeug hierfür eine Möglichkeit einen Aspekt der Stochastik besser erfahrbar zu machen. Mit Hilfe von Computern kann die Simulation von Zufallsgeräten schnell und mit großen Wiederholungszahlen durchgeführt werden und ermöglicht somit beispielsweise einen gegenständlicheren Blick auf das empirische Gesetz der großen Zahl oder die Bedeutung des Erwartungswerts als Prognosewert für das arithmetische Mittel.

Simulation als Werkzeug im Wechselspiel: Die Simulation kann im Wechselspiel mit analytischen Methoden eingesetzt werden. Zum einen können analytisch bestimmte Ergebnisse mit einer Simulation geprüft werden. Zum anderen kann eine eingangs durchgeführte Simulation Ergebnisse liefern, die Erkenntnisse für analytische Ansätze liefert.

Simulation als Werkzeug *sui generis*: Die Simulation kann nicht bloß als Hilfswerkzeug, sondern auch als eigenständige Problemlösemethode in der Stochastik angesehen werden. Dies gilt insbesondere in Situationen, bei denen (noch) keine analytische Lösung existiert bzw. noch nicht von den Lernenden verstanden wird. Dieser Ansatz vermittelt ferner ein umfassenderes Bild der Mathematik abseits vorherrschender algebraischer/analytischer Herangehensweisen.

Sollen sich Lernende nun mit der Simulation von Zufallsexperimenten beschäftigen, sollten sie im ersten Schritt selbige von Hand simulieren (vgl. Biehler & Maxara, 2007, S. 50), also z. B. einen Würfel oder eine Münze wiederholt werfen und die geworfenen Ergebnisse protokollieren. Somit werden sie mit dem Simulationsprozess vertraut. Erste Erkenntnisse etwa über die relative Häufigkeit, abhängig von der Stichprobengröße oder die Runlänge in Wurfserien können in diesem Stadium bereits gesammelt werden. Für genauere Analysen sind jedoch Wiederholungszahlen nötig, die außerhalb des praktikabel Machbaren liegen, bzw. eine enorme Zeit beanspruchen. In einem zweiten Schritt ist es demnach sinnvoll, die Simulation mit Hilfe eines Computers durchzuführen, der dies in einer wesentlich ökonomischer erledigt. FATHOM als eine mögliche Software, mit der sich stochastische Simulation durchführen lassen, bietet hierfür mehrere Varianten, die im nächsten Abschnitt beschrieben werden. Im darauf folgenden Abschnitt gehen wir auf die bisher existierenden Simulationshilfen, wie den Simulationsplan, ein, der Lernende bei der Durchführung einer Simulation unterstützen soll.

1.2.1 Simulationsarten

Die Simulation zur Modellierung und Lösung stochastischer Probleme lässt sich in kleinere überschaubare Teilschritte gliedern. In einschlägiger Literatur finden sich Aufteilungen in unterschiedlicher Gliederungstiefe, meist bestehend aus vier bis acht Schritten (vgl. z. B. Gnanadesikan et al., 1987; Engel, 2002; Biehler, 2003; Engel, 2003; Biehler et al., 2006; Biehler & Maxara, 2007). Biehler & Maxara (2007) stellen beispielsweise ein 6-stufiges Strukturierungs- bzw. Prozessmodell vor, das neben der stochastischen Formulierung die Realisierung mit einem Zufallsgerät aufzeigt (siehe Tab. 1.1).

Schritt-Nr.	Stochastische Komponenten	Realisierung mit einem Zufallsgerät
M	Modellierung der realen Situation mit zufälligem Ausgang durch ein Zufallsexperiment	
1	Festlegen des Modell-Zufallsexperiments	Wahl geeigneter Zufallsgeräte zur Simulation; Definition eines Zufallsversuchs, der dem Zufallsexperiment entspricht
2	Identifikation interessierender Ereignisse und Zufallsgrößen	Übertragung der Ereignisse und Zufallsgrößen in die „Welt“ der gewählten Zufallsgeräte
3	Wiederholung des Modell-Zufallsexperiments und Sammeln von Daten bezüglich der Ereignisse und Zufallsgrößen	Wiederholung der Simulation; Sammeln von Werten der definierten Ereignisse und Zufallsgrößen
4	Datenanalyse: relative Häufigkeiten (Ereignisse); empirische Verteilungen (Zufallsgrößen)	Auswertung der simulierten Daten
I	Interpretation und Validierung	

Tab. 1.1 6-Stufen-Plan mit stochastischer Modellierung und Simulation, aus Biehler und Maxara (2007, S. 48)