
Bauwerksmodellbasierte Serious Games als Ingenieurmethoden im Brandschutz am Beispiel interaktiver Entfluchtungsanalysen

Vom Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
der Technischen Universität Darmstadt
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Kristian Schatz

aus Freiburg im Breisgau

Referent: Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel
Technische Universität Darmstadt
Korreferent: Prof. Dr. rer. medic. Josef Wiemeyer
Technische Universität Darmstadt
Tag der Einreichung: 30. Oktober 2013
Tag der Prüfung: 17. Dezember 2013
Reihe: D-17 (Diss. TU Darmstadt)



Berichte des Instituts für Numerische Methoden
und Informatik im Bauwesen

Band 1/2014

Kristian Schatz

**Bauwerksmodellbasierte Serious Games als
Ingenieurmethoden im Brandschutz am Beispiel
interaktiver Entfluchtungsanalysen**

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Aachen 2014

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2013

Copyright Shaker Verlag 2014

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3008-2

ISSN 1860-9430

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Für Klaus, meine Vergangenheit.

Für Anna, meine Zukunft.



Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist die Zusammenfassung meiner Forschungsergebnisse der vergangenen fünf Jahre, die ich im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen der Technischen Universität Darmstadt ausgearbeitet habe. Dabei habe ich im Gedankenaustausch mit Wissenschaftlern, sowohl aus Deutschland als auch aus aller Welt, festgestellt, dass ich mit zu den Ersten gehöre, die sich Gedanken darüber machen, wie Konzepte, Methoden und Technologien des *Serious Gaming* mit der *Bauinformatik* verknüpft werden können, um Ingenieurprobleme des Bauwesens zu lösen. Mir ist es wichtig zu betonen, dass die Perspektive auf diese Thematik und somit auch meine Schlussfolgerungen ganz klar aus meinem fachlichen Hintergrund, dem eines Bauingenieurs, geprägt sind. Mein Ziel ist es, mit dieser Arbeit Anknüpfungspunkte für weitere wissenschaftliche Fragestellungen auf diesem interdisziplinären Gebiet zu liefern.

Ich danke Herrn Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel für die richtige Kombination an fachlichen Impulsen und Freiheiten, die es mir ermöglicht haben mich in dieses komplexe und hochinteressante Thema hineinzuarbeiten. Darüber hinaus danke ich ihm für die Übernahme des Hauptreferates. Herrn Prof. Dr. rer. medic. Josef Wiemeyer danke ich für das Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Korreferates. Seiner Auseinandersetzung mit meiner Arbeit verdanke ich wichtige Anregungen aus einem Bereich jenseits der *Bauinformatik*.

Ein ganz besonders herzlicher Dank geht an all die Menschen, mit denen ich während der vergangenen fünf Jahre am Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen zusammenarbeiten durfte. Dies umfasst sowohl meine Kolleginnen und Kollegen als auch alle Studierenden, die ich im Rahmen von Studien- und Abschlussarbeiten kennenlernen durfte. Ich blicke auf viele intensive fachliche Diskussionen und schöne gemeinsame Momente gerne zurück. Ihr habt mein Leben mit wertvollen Erfahrungen bereichert.

Meiner Frau Ann-Kathrin danke ich für ihre Unterstützung und ihr Verständnis, besonders als die Tage der Einreichung und Prüfung immer näher gerückt sind. Meiner Tochter Anna danke für das Einfordern gemeinsamer Zeit mit ihrem Papa. Ein geschenktes Kinderlachen gibt Kraft in anstrengenden Zeiten.

Kristian Schatz



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1. Motivation und Zielsetzung	1
1.1. <i>Motivation</i>	1
1.2. <i>Zielsetzung</i>	2
1.3. <i>Überblick über diese Arbeit</i>	5
2. Berücksichtigung des menschlichen Verhaltens bei Entfluchtungsanalysen	9
2.1. <i>Einleitung</i>	9
2.1.1. <i>Ingenieurmethoden für Entfluchtungsanalysen</i>	9
2.1.2. <i>Grenzen der Modellierung des menschlichen Verhaltens</i>	12
2.1.3. <i>Lösungsansatz Computerspiel</i>	17
2.2. <i>Serious Games</i>	18
2.2.1. <i>Das Spielen als Kulturelement</i>	18
2.2.2. <i>Mit Computern spielen</i>	19
2.2.3. <i>Serious Games als Zukunftstechnologie</i>	21
2.3. <i>Untersuchung menschlichen Verhaltens mit Serious Games</i>	22
2.4. <i>Fazit</i>	24
3. Prozesse und Akteure der Computerspielentwicklung	27
3.1. <i>Nutzerorientierte Gestaltungsprozesse</i>	27
3.2. <i>Game Design als iterativer Gestaltungsprozess</i>	30
3.3. <i>Fachrollen der Computerspielentwicklung</i>	31
3.4. <i>Besonderheiten bei Serious Games</i>	33
3.5. <i>Serious Game Design</i>	33
3.5.1. <i>Interdisziplinäres Wissensmanagement</i>	34
3.5.2. <i>Identifizierung der Schnittmenge</i>	35
3.5.3. <i>Ausbalancierung der Schnittmenge</i>	38
3.6. <i>Fazit</i>	42
4. Die strukturellen Elemente des Computerspielmodells	43
4.1. <i>Präsentation–Inhalt–Regeln</i>	43
4.1.1. <i>Computerspielregeln</i>	45
4.1.2. <i>Grenzen der Regelverarbeitung</i>	52
4.2. <i>Fazit</i>	54
5. Technische Aspekte der Computerspielentwicklung	55
5.1. <i>Computerspiele als weiche Echtzeit-Simulationen</i>	55
5.2. <i>Game Engine</i>	55
5.2.1. <i>Ressourcen Verwaltung</i>	57
5.2.2. <i>Runtime Game-Engine</i>	58
5.2.3. <i>Game-Engine und Computerspielobjekte</i>	61
5.3. <i>Game-Content</i>	62

5.3.1.	3D-Modell	62
5.3.2.	Materialien und Texturen	64
5.3.3.	Texturiertes 3D-Modell	66
5.3.4.	Austauschformate für 3D Inhalte	68
5.4.	<i>Game Editoren</i>	68
5.4.1.	Unreal Development Kit	69
5.5.	<i>Fazit</i>	74
6.	Fachmodelle des Bauwesens	77
6.1.	<i>Vernetzt kooperative Ingenieurplanung</i>	77
6.2.	<i>Building Information Modeling (BIM)</i>	77
6.3.	<i>Numerische Simulationsmodelle</i>	81
6.4.	<i>Fazit</i>	83
7.	Anforderungen an eine digitale Modellsynthese	85
7.1.	<i>Kognitiv-manuelle Modellsynthese</i>	85
7.1.1.	Wort-Gegenstands-Modell	86
7.1.2.	Daten-Gegenstands-Modell	88
7.2.	<i>Software-unterstützte Modellsynthese</i>	91
7.2.1.	Datenaustausch mit FBX	94
7.3.	<i>Anforderungen an eine semi-automatisierte Modellsynthese</i>	97
7.4.	<i>Simulationen von dynamischem Bauwerksverhalten in Computerspielen</i>	99
7.4.1.	Grenzen der Echtzeit-Simulation	99
7.4.2.	Anforderung an die Integration numerischer Simulationsergebnisse	101
7.5.	<i>Fazit</i>	101
8.	BIG: Ein wissensbasiertes Konzept für bauwerksmodellbasierte Computerspielentwicklung 103	
8.1.	<i>BIG-Definitionen</i>	103
8.2.	<i>Semantische Technologien</i>	104
8.2.1.	Beschreibungslogiken	105
8.2.2.	Konzept der BIG-Ontologie	110
8.2.3.	Semantische Annotation	115
8.2.4.	Semantische Annotation digitaler Bauwerksobjekte	116
8.3.	<i>Konzept für die Integration numerischer Simulationsergebnisse</i>	118
8.4.	<i>Komponentenbasierte BIG-Plattform</i>	119
8.4.1.	Komponenten-Entwurf für die Bauwerksmodellsynthese	120
8.4.2.	Komponenten-Entwurf für die Integration numerischer Simulationsergebnisse	121
8.5.	<i>Fazit</i>	122
9.	Umsetzung der BIG-Plattform	123
9.1.	<i>Umsetzung der Schnittstellen für die digitale Modellsynthese</i>	123
9.1.1.	BIM-Software (mit BIGKit-Addon)	124
9.1.2.	Wissensverwaltung (BIG.Base)	124
9.1.3.	Wissensserver (BIG.MIR Webservice)	129

9.1.4.	Semantischer Annotierer (BIG.Annotation)	129
9.1.5.	Game (BIG.Play)	132
9.2.	<i>Umsetzung des Datenaustauschs für die Integration numerischer Simulationsergebnisse</i> 134	
9.2.1.	BIM-Software (mit MEnSA.BIM-Addon).....	135
9.2.2.	Numerische Simulationssoftware	135
9.2.3.	Konverter.....	136
9.2.4.	Auswertung und Analyse (BIG.Meaning)	139
9.3.	<i>Fazit</i>	141
10.	Anwendungsbeispiel Serious Human Rescue Game	143
10.1.	<i>Design-Phase</i>	143
10.1.1.	Ziele des Spiels	143
10.1.2.	Abstraktes, synthetisiertes Computerspielmodell	144
10.1.3.	Brandszenarien.....	146
10.2.	<i>SHRG als Ingenieurmethode für interaktive Entfluchtungsanalysen</i>	148
10.3.	<i>Vergleichende Untersuchung mit ausgewählten Computermodellen für Entfluchtungsanalysen</i>	151
10.3.1.	RiMEA Testfall Nr. 12.....	151
10.3.2.	Komplexes Multi-Szenario.....	154
10.4.	<i>Fazit</i>	158
11.	Zusammenfassung und Ausblick.....	161
11.1.	<i>Zusammenfassung</i>	161
11.2.	<i>Ausblick</i>	164
11.2.1.	Erweiterung der BIG-Plattform	164
11.2.2.	Untersuchung spielerbezogener Kriterien und Faktoren.....	164
11.2.3.	Anwendungsfälle im Bauwesen	165
11.3.	<i>Abschließendes Fazit</i>	167
12.	Quellenverzeichnis.....	169
Anhang A.....		185
Anhang B.....		188